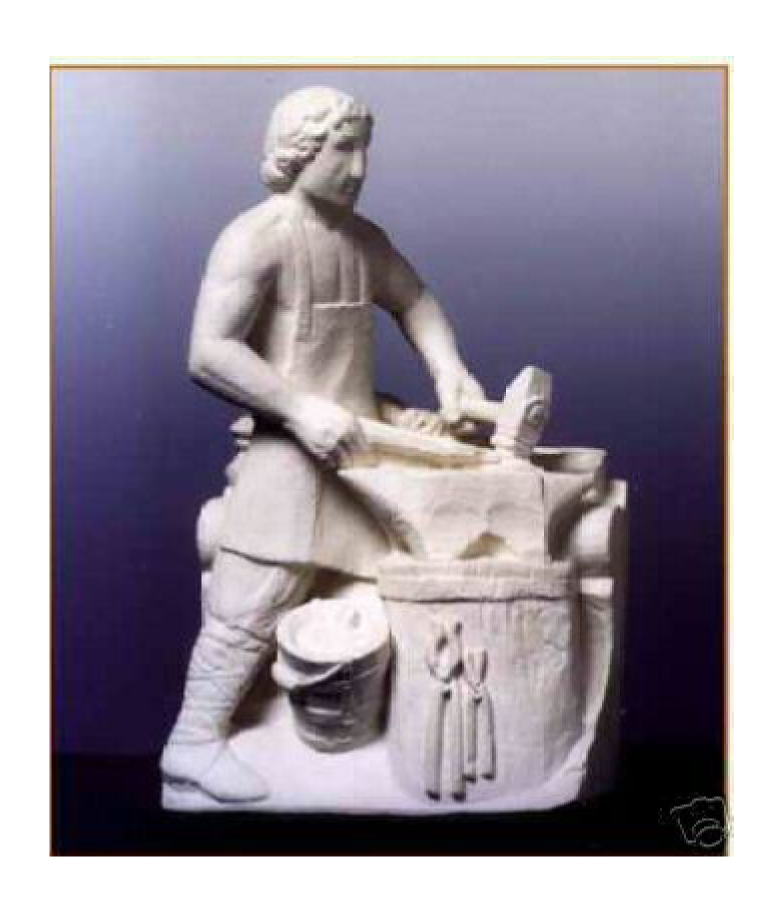
MEMENTO PRATIQUE DE FORGE A L'USAGE DU COUTELIER



Ceci n'est qu'un amalgame des informations trouvées sur le site de Gerard Heutte
http://coustil.free.fr/home_fr.html
coustil@free.fr

I. LE MATERIEL

A-L'atelier et les outils

Tout ce qu'il faut pour aborder sereinement les travaux du forgeron et du coutelier !

Ci-contre, les trois principaux outils du forgeron :
- Enclume
- Marteau
- Tenailles...
Il en existe bien d'autres mais moins indispensables !

Quand au coutelier la liste pourrait être longue. Mieux vaut avoir quelques outils de bonne qualité dont on se sert avec brio, qu'un tas de gadgets.

1 .La Forge
Un foyer de forge est indispensable. La gamme de ce qui est utilisable est très large !
On distinguera les forges à gaz et les forges à charbon.

Les forges à gaz sont chères à l'achat mais pratiques et économiques à l'usage. Certains fabriquent leur propre forge à gaz, mais mieux vaut avoir de bonnes connaissances en brûleurs. L'avantage principal de la forge à gaz est sa rapidité de mise en oeuvre. Son inconvénient est de ne pas permettre les chauffes locales.

Les forges à charbon sont plus faciles à bricoler ! Il suffit d'une zone pour mettre le combustible et d'une ventilation arrivant par le dessous ou le coté. En revanche, elles sont plus longues à démarrer. Elles permettent des chauffes locales de pièces.
Parmi les possibilités, on trouvera :
- La forge au sol . En général, il s'agit d'un un trou ou quelques briques disposées au sol.
- Le barbecue associé au sèche-cheveux. En général, le fond du barbecue finit par se désagréger sauf s'il est protégé (par de la Brasque par exemple)
- Montage d'un foyer dans une carcasse métallique. Voir un exemple avec la "forge en U"

Pour la mise en forme à chaud du métal un support est nécessaire. Plusieurs solutions sont possibles :

2.Enclume
L'enclume est une des solutions. La difficulté est de se la procurer. Neuves, elles sont hors de prix !
D'occasion, les prix sont en général assez élevés. On assiste à cette montée des prix depuis que des rigolos (pour rester polis) trouvent que les enclumes font de jolis supports à pots de fleurs !
Il faut en parler autour de soi, faire les journaux de petites annonces, aller voir les anciens artisans ou agriculteurs.

3.Tas
A défaut d'enclume, un tas peut convenir. Un tas est un bloc d'acier parallélépipédique. Au contraire de l'enclume, il ne dispose pas de bigorne. Ce point, bloquant pour le ferronnier ne l'est pas pour le coutelier. Les quatre angles vifs sont bien pratiques pour forger les tranchants.

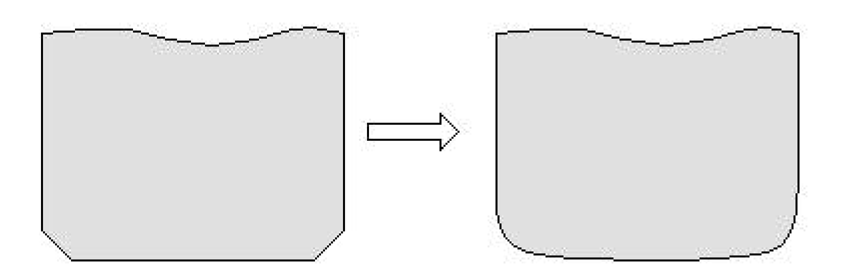
Il est également possible d'utiliser un rail de chemin de fer aménagé. On pourra dégager une bigorne.
Le dessus (généralement légèrement bombé) sera aplani pour faire la table. Il faudra percer quatre trous sur la base pour la fixation, ou utiliser des sortes de cavaliers..

Pour travailler à l'aise, l'enclume sera fixée sur un billot. Ce billot sera de préférence en bois tendre (sapin, tilleul, peuplier). La hauteur finale de la table de l'enclume se situera entre la taille et l'entrejambe selon l'utilisateur.

Si l'enclume "sonne", on pourra diminuer les vibrations par l'une des méthodes suivantes :
- Coller un gros aimant sous la bigorne.
- Placer l'enclume dans un cerclage rempli de sable au sommet du billot.
- Suspendre à la bigorne une courroie en cuir avec un gros poids.

Conjointement à l'enclume, un tranchet est bien pratique pour couper le métal à chaud. Il se positionne tranchant vers le haut sur l'enclume.

4.Les marteaux
Les marteaux sont les outils de base du forgeron. Pas la peine d'en avoir une collection ! Pour commencer, deux marteaux suffisent. Un gros marteau (1.5 à 2kg) sera utilisé pour les gros travaux d'étirement.
Un marteau plus léger (700g à 1kg) permettra les finitions et le travail délicat.
Attention, pour ne pas marquer la surface du métal, il faut que la face plane soit légèrement bombée.
De plus, tous les bords du marteau doivent être arrondis. Si nécessaire, les modifier à la disqueuse, puis les polir. La surface de frappe ne doit pas comporter de marques qui seraient imprimées dans le métal à chaque coup. Ci-Contre, la forme de la panne sur un marteau neuf et ce qu'elle doit devenir !

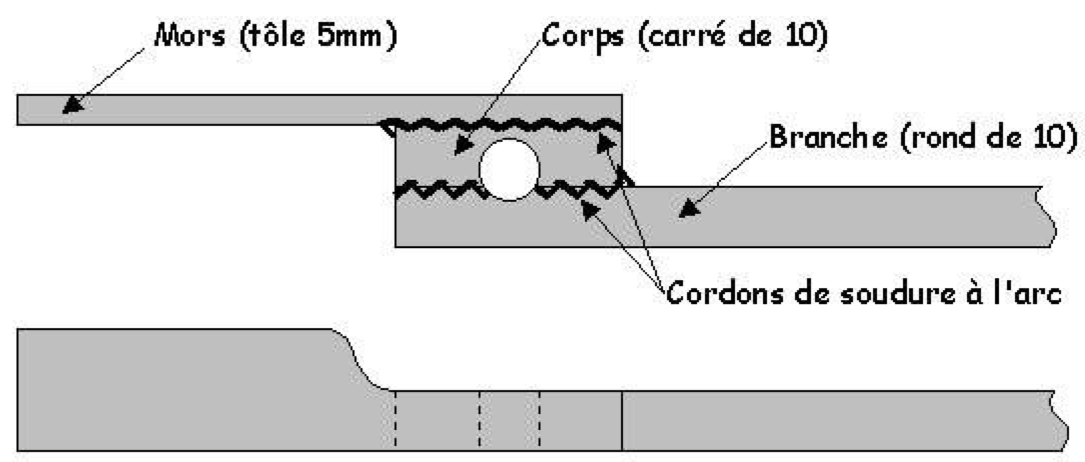


Voilà le résultat sur un marteau. La surface de frappe (et les bords) du marteau ont été retravaillés et polis (un grain de 240 est bien suffisant).

Les manches seront de préférence en cornouiller, robinier ou hêtre. Les entretenir à l'huile de lin (immersion ou badigeonnage).



5.Les tenailles
Les tenailles sont indispensables pour manipuler la pièce dans le foyer de forge. Il en existe de nombreux types. Le minimum absolu est une tenaille plate. Un bon forgeron est capable de se fabriquer ses tenailles.
Veiller à la longueur des branches, qui doit être suffisante pour ne pas se brûler.
Voici une méthode de fabrication rapide de tenailles :



6.Abrasifs
Pour la finition, les abrasifs sont incontournables. Je ne parlerai pas ici du backstand qui est un excellent outil mais assez onéreux.
L'abrasion manuelle est plus "courante" chez les amateurs ! Les abrasifs en bande ou en feuilles se trouvent quasiment partout. Il est conseillé de les utiliser avec une cale à poncer pour les surfaces planes ou légèrement bombées.
On pourra utiliser deux types de papier :
- Papier de carrossier. Il s'utilise avec de l'eau. Il convient bien pour l'acier. On le trouve en grains 80, 120, 240, 400 et 600. Les grains plus fins ne sont pas très courants. On arrive cependant à trouver du 1000 dans les bons "bricobidules".
- Papier "standard". Il s'utilise à sec. Il convient bien pour le bois et le laiton. On le trouve aussi en différents grains. Pour le bois, un grain 600 donne déjà un bel aspect.
Pour les finitions "supérieures", on pourra essayer : le scotch-brit ou un chiffon avec des pâtes abrasives.

7.***Perceuse***
Difficile de faire un couteau sans percer de trou. On choisira une perceuse sur colonne, avec son étau. C'est la garantie (relative) de perçage orthogonaux aux surfaces ! Acheter des forets de bonne qualité. Il faut éviter les boîtes, attractives au niveau prix, mais pas toujours de bonne qualité.
Préférer les achats à l'unité. Il faut un bon assortiment de 1 à 6mm.

8.L'etau
Choisir un bon étau de mécanicien et le fixer à un solide bâti. Prévoir des mordaches en métal tendre, plastique ou tôle sur laquelle on collera deux bandes de cuir. On évitera ainsi de marquer la lame en cours de travail.

9.Limes
Les limes sont indispensables. On les utilisera pour :

La mise en forme des pièces. On choisira quelques limes bâtardes ou moyennes. Un assortiment de quelques limes plates, demi-rondes et rondes permettra d'effectuer quasiment tous les travaux.

Le guillochage . Il est préférable d'acheter un assortiment de limes aiguilles avec au minimum : Plate, carrée, triangulaire et ronde.

Quelques remarques sur les limes :
Une bonne lime coûte assez cher. Compter au minimum une quinzaine d'euros pour une bastarde plate.
La calamine est destructrice pour les limes. Blanchir la lame à la forge avant et/ou faire sauter la calamine à la disqueuse (maniée finement) et/ou immersion de la lame dans du vinaigre blanc pendant une demi-journée.
- Séparer les limes neuves (pour les travaux de qualité sur les lames), des vieilles (pour le "n'importe quoi").
- Pour les limes plates, veiller à ce qu'un des bords fins soit lisse, pour pouvoir limer dans un coin en attaquant un seul des cotés.

Pour connaître la dureté de l'acier, il existe des machines spéciales mais qui sont hors de prix, à moins de tomber sur une bonne occasion. A défaut, on pourra utiliser un jeu de limes étalonnées au niveau dureté. On les utilise de la plus dure à la moins dure et on voit à quel moment elles "accrochent" sur le métal. On a ainsi une idée de la dureté dans une fourchette de quelques points HRC (2 ou 3 avec de l'expérience).
Attention, il ne s'agit pas de limer la lame, mais juste de voir si la lime glisse ou pas. Pas besoin de forcer !
Malheureusement, cet outil fort utile est aussi assez onéreux. Il faut compter environ 100 euros HT pour un jeu de 6 limes de 40 à 65HRC.

10.Accessoires de montage
Pour les montages des manches sur soie ou en plate-semelle, un certain nombre de petits ustensiles ou accessoires peuvent être bien utiles :
- Colle. J'ai un faible pour l'araldite bi-composant à prise lente. Evidemment, il faut patienter un peu, mais on a le temps de bien positionner les pièces, de les fixer, de nettoyer les bavures...
- Film ménager pour micro-onde. Ce film transparent sert à protéger la lame pendant le montage. On peut ainsi éviter des tâches de colles disgracieuses.
- Pinces diverses. Ma préférence va aux pinces à ressort..

11.Les bricoles qui servent toujours…
A part ces outils fondamentaux, un certain nombre d'accessoires ou d'outils secondaires sont bien utiles pour la forge :
- Un bac à eau (pour asperger le foyer ou refroidir des pièces)
- Une raclette à charbon
- Scie à métaux.
- Pinces diverses.
- Un ensemble pour tracer : Pointeau, réglet, équerre, pointe à tracer.
- Pied à coulisse.
- Micromètre; Surtout utile pour la fabrication des couteaux pliants qui ne plaisantent pas avec le parallélisme. En général, le pied à coulisse est bien suffisant !

12.Le charbon de bois
Choix du combustible
Pour faire fonctionner une forge, il faut un combustible. Il n'y a pas de combustible parfait !
Chacun a ses avantages et inconvénients. Plusieurs sont disponibles :

Charbon minéral dit charbon de forge
- Avantages : Fort pouvoir calorifique, Prix modéré
- Inconvénients : Nécessité de dégazer, Emission de fumées toxiques

Gaz
- Avantages : Fort pouvoir calorifique, Prix moyen, Montée en température rapide
- Inconvénients : Forge plus onéreuse, Chauffe locale impossible

Charbon de bois
- Avantages : Combustible propre, Facile à utiliser
- Inconvénients : Prix assez élevé

Mon choix personnel s'est porté sur le charbon de bois.
Comment choisir son Charbon de Bois ?
Question conditionnement, je conseille l'achat en sac de 50 litres. Voici quelques points pour reconnaître un bon Charbon de Bois :
- Morceaux de taille homogène.
- Les morceaux de charbon ne doivent pas s'effriter sous les doigts.
- Pas de bois mal cuit.
- Pas trop d'écorce.
- Pas de clous ou de vis qui indiqueraient que le bois est de récupération.
- Les morceaux doivent "tinter clair" et rendre un son cristallin quand on les laisse tomber.

On peut acheter le charbon de bois dans les bricobidules. Attention, il est en général disponible uniquement dans la période barbecue ! En conséquence, penser à faire un stock pour l'hiver. J'utilise régulièrement la marque "La Forestière du Nord". Il faut en général compter 12 euros pour un sac de 50 litres.

Préparation du Charbon de Bois
A l'achat, les morceaux sont en général trop gros. Il faut donc casser les morceaux et les calibrer.
On distinguera trois cas :

Le gros calibre servira pour les chauffes standards. On gardera pour cela les morceaux de 30 à 40mm d'arête.

Le petit calibre servira pour les chauffes homogènes, typiquement pour la trempe. On gardera pour cela les morceaux de 10 à 20mm d'arête.

Les résidus seront gardés pour faire la poudre de Charbon de bois, utilisée dans l'enduit pour les trempes sélectives ou la brasque. Les petits morceaux pourront servir à limiter le feu dans le foyer, une fois humidifiés.

Repère de température :
Les braises de charbon de bois (sans ventilation) sont entre 800 et 850°C. Cette plage de température servira éventuellement de repère pour les trempes.

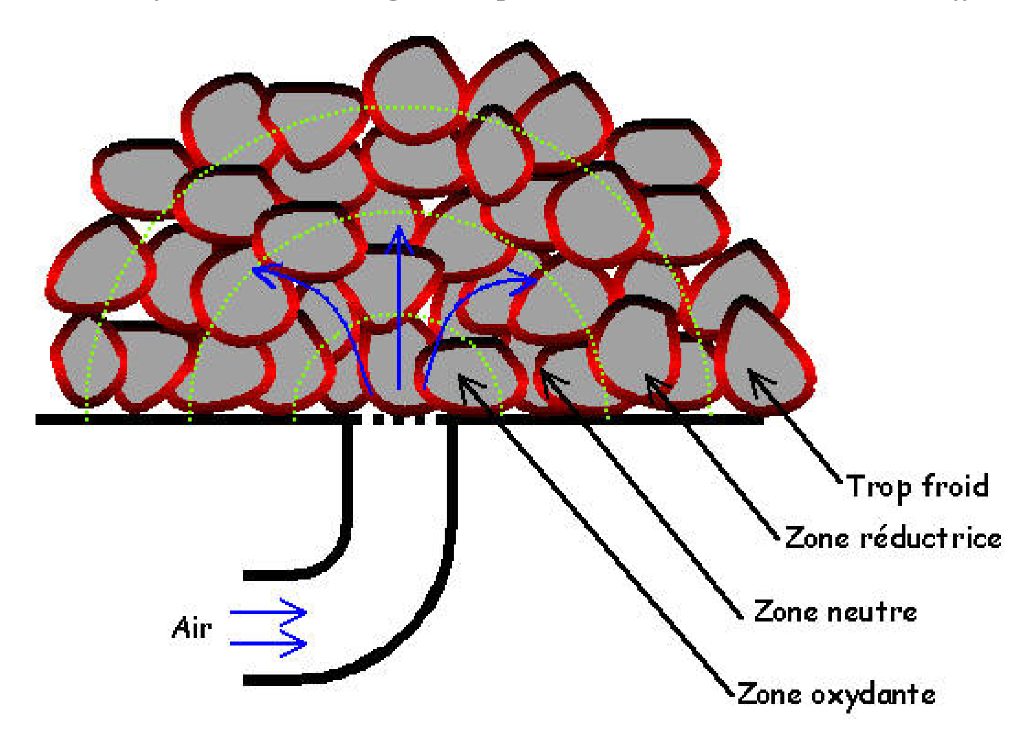
B-Le Feu de Forge

Quoi de plus banal qu'un feu de forge ?
Encore faut-il comprendre son fonctionnement et l'utiliser correctement... Je n'aborderai ici que le feu de forge traditionnel et au charbon de bois. Bonne lecture et bon feu !

1.Principes
Voici ce qui se passe lors de la combustion.
(1) Sous l'action de la chaleur, le carbone du charbon de bois et l'oxygène de l'air se combinent pour former du CO (i.e. monoxyde de carbone) : C + O --> CO
(2) Ce monoxyde de carbone brûle en dégageant de la chaleur : CO + O --> CO_2
Cette réaction de création de CO_2 (i.e. dioxyde de carbone) s'accompagne de flammes bleues.
Ce sont donc les gaz dégagés par le charbon qui brûlent pour produire la chaleur.

En conséquence, il faut de l'espace entre les morceaux de charbon pour que (1) l'air (qui apporte l'oxygène) circule (2) les gaz puissent se former. D'où l'importance de la granulométrie du charbon de bois.

Dans le feu, on distinguera plusieurs zones avec des effets différents :



Zone oxydante : Au plus près de l'arrivée d'air, il y a beaucoup (trop) d'oxygène. La combustion est en déficit de carbone. Celui-ci sera pris n'importe où y compris dans l'acier. Cette zone s'étend sur quelques centimètres autour de la sortie d'air. Il est fortement déconseillé de travailler dans cette zone qui dégrade l'acier. C'est aussi la zone la plus chaude du feu !

Zone neutre : Un peu plus loin de l'arrivée d'air, la combustion est relativement équilibrée. L'apport d'oxygène correspond à peu près aux besoins.

Zone réductrice : Encore un peu plus loin de l'arrivée d'air, la combustion est en léger déficit d'oxygène. L'acier peut alors capter le surplus de carbone disponible.

Zone froide : Au delà d'une bonne dizaine de centimètres, la combustion est partielle. La température est bien trop faible pour chauffer efficacement de l'acier jusqu'aux températures de travail.

2.Chauffer de l'acier

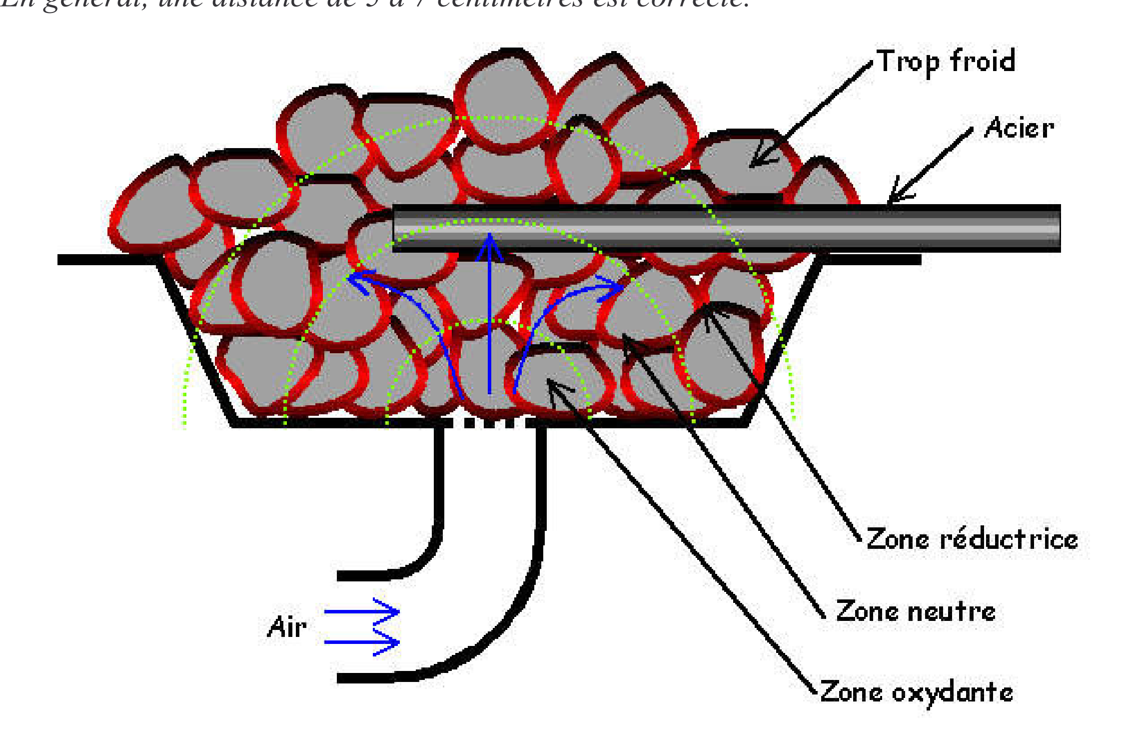
Pour chauffer de l'acier dans de bonnes conditions, il faudra respecter quelques principes de base :

- Démarrer doucement. On posera la barre ou la pièce à chauffer à proximité du foyer (e.g. sur le coté ou en haut du feu) pendant que l'on finit la pièce précédente. Puis, on placera la pièce en haut du foyer, avec une ventilation douce pour un feu calme. La montée en température sera lente et douce. On laissera ainsi aux transformations de structures cristallines le temps de se faire "dans la douceur". Il faut éviter les "méthodes" genre : Feu à fond et la barre directement en zone oxydante !

- On travaillera à la limite de la zone neutre/réductrice. Eviter impérativement la zone oxydante.

3.Aménager le foyer

Pour éviter de travailler dans la zone oxydante, on pourra cerner le foyer d'un rehaussement qui permettra de placer une barre d'acier dans la bonne zone, simplement en la posant !
On pourra fixer devant et derrière le foyer une brique réfractaire.
En général, une distance de 5 à 7 centimètres est correcte.

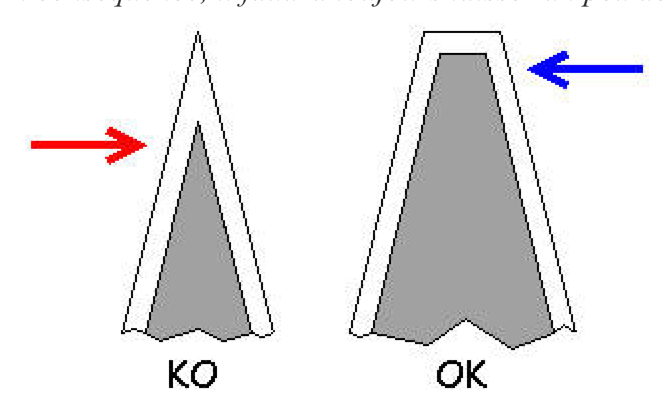


4.Données techniques

Un feu de forge au charbon de bois permet d'atteindre facilement des températures élevées, y compris le "blanc soudant". Cette température nécessite un bon débit d'air !
Point de repère intéressant : Les braises d'un feu au charbon de bois sont aux alentours de 800°C à 850°C (ventilation coupée et après avoir attendu un peu).

5.Décarburation

A moins de travailler exclusivement en zone réductrice, ce dont on est jamais sûr à 100%, vous serez confronté à ce phénomène.
Les atomes de carbone sont relativement mobiles dans l'acier. De façon naturelle, ils vont des endroits fortement carburés vers les endroits les moins carburés. La migration des atomes de carbone dépend de nombreux paramètres. La température est le plus important d'entre eux.
En zone oxydante, la température est très élevée et il y a aux alentours de la pièce un déficit important de carbone. Le carbone va donc sortir de l'acier pour rentrer dans la combustion !
Dans les autres zones, ce phénomène existe peu ou prou.
On considère qu'une lame normalement forgée se décarbure sur 2 ou 3 dixièmes de millimètres.
En conséquence, il faudra toujours laisser un peu de "gras" sur le tranchant.

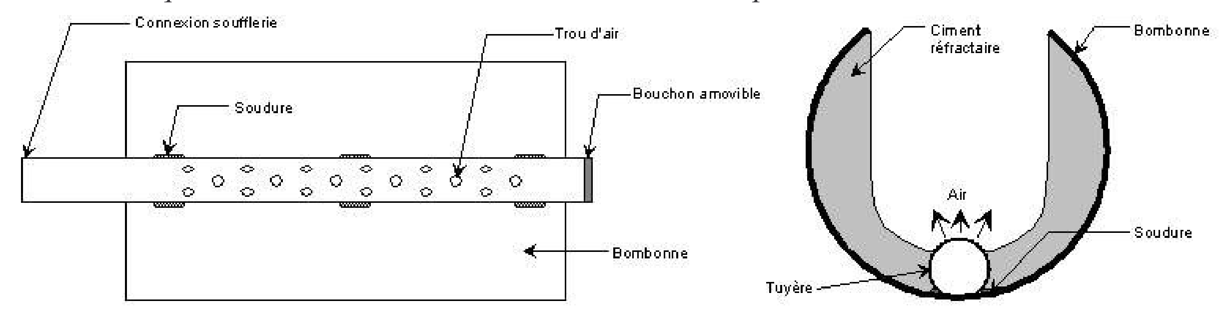


La figure de gauche montre ce qu'il ne faut pas faire : Pour enlever (lors de l'affutage) la zone décarburée (en clair), il faudra enlever une "grande" largeur de lame, en descendant au moins jusqu'à la flèche rouge.
Sur la figure de droite, il suffira de diminuer la largeur de la lame de 3 à 5 dixièmes de millimètres jusqu'à la flèche bleue.
En général, on laisse toujours une épaisseur au tranchant de l'ordre de 0.5 millimètre. Sur les grandes lames, on laisse souvent un peu plus épais, mais c'est principalement pour garder une rigidité à la lame lors de la trempe.

C-Construction d'une forge en « U »

Cet article présente la réalisation d'une forge artisanale. Sa forme en U la rend très pratique pour la forge des lames. Les matériaux sont majoritairement de récupération, à part un peu de ciment réfractaire..
L'objectif est de réaliser une construction efficace, portable et d'un coût abordable.
Le corps est constitué d'une partie de bombonne d'air comprimé de camion. On peut en récupérer gratuitement dans les poubelles des garages pour poids lourds !
La tuyère est un simple tube percé et placé au fond.
L'intérieur du foyer est fait de ciment réfractaire.

1.Principes
Les deux croquis ci-dessous montrent les éléments de base pour cette réalisation.



A gauche, une vue de dessus.
A remarquer :
> Le dessus de la tuyère est percé de trous de 8 ou 10, pour diffuser l'air au fond du foyer.
> La tuyère dépasse un peu à l'avant de la forge. On y placera un bouchon amovible, ce qui permet le nettoyage périodique.
> La tuyère dépasse à l'arrière de la forge (10cm). On y connectera le tuyau en provenance de la soufflerie. La circulation de l'air évite un échauffement excessif.
> La tuyère est soudée directement sur le fond de la bombonne.

A droite une coupe montrant :
> La diffusion de l'air au fond du foyer.
> L'agencement tuyère / ciment réfractaire. Ce dernier recouvre partiellement la tuyère mais laisse les orifices de sortie d'air apparents.

2.Les étapes de la réalisation
1 - Préparer la bombonne en coupant les deux extrémités et le dessus. Pour des questions pratiques, il faudra y souder une base pour la stabilité. Quatre carrés obstrués servent à mettre des pieds quand un support n'est pas disponible. J'ai, depuis la version initiale, percé chacun de ces carrés ainsi que les pieds pour pouvoir les rendre solidaires via un boulon.



2 - La tuyère est un tube métallique (acier de construction E24) de 40 de diamètre. Percer la tuyère d'une série de trous (diamètre 8 ou 10). Puis souder cette tuyère sur le fond de la bombonne.

3 - Ensuite, il faut mettre le ciment réfractaire. Cette opération est à faire en trois fois. Tout d'abord, le fond puis chacun des cotés en couchant la bouteille sur le flanc. L'avant et l'arrière sont "fermés" par des briques.



Sur la photo ci-contre, phase de revêtement avec le ciment réfractaire sur un des cotés. La forge est couchée sur le côté, les extrémités sont temporairement obstruées par deux briques réfractaires. Le ciment est alors coulé et taloché dans la zone ainsi délimitée...



4 - Laisser sécher quelques semaines. Pour la mise en service, faire des feux de plus en plus chauds, pour "cuire" le ciment réfractaire. La forge en fonctionnement (1) de face ci-contre (2)

de profil ci-dessous. A noter, le système télescopique pour supporter la pièce en cours de chauffe. La forge est ici posée sur un bâti de récupération.



3.Quelques trucs et idées

Pour dimensionner facilement la taille du foyer, le moyen le plus simple est de placer une brique ou une demi-brique à l'arrière du foyer, directement posée sur la tuyère... Ainsi, la distance entre la pièce et la tuyère sera correcte.

Un support de barre peut être réalisé grâce à deux tubes soudés le long de la bombonne. Ces deux tubes reçoivent ensuite un support coulissant, réalisé en fer à béton (plié et soudé).

Quelques améliorations sont envisageables. Tout d'abord, des poignées latérales pour faciliter le déplacement de cette forge. On peut également rajouter un capot amovible (en forme de voûte) en matériau réfractaire. Ce capot facilite la montée en température de la forge.

Parmi les limitations, la principale est l'impossibilité d'utiliser du borax. En effet, celui-ci tomberait au fond de la forge et finirait par détruire la tuyère. Une arrivée d'air latérale permettrait de passer outre, mais c'est une autre histoire..

D-Conversion d'un moteur d'aspirateur en ventilation

Tout est dans le titre ! Pour réaliser une forge, il est indispensable d'avoir une ventilation. L'achat d'un ventilateur de forge est un lourd investissement (compter de 200 à 500 Euros)... On peut faire sans ! Cet article présente une solution techniquement satisfaisante et plus abordable financièrement.

1.Principes

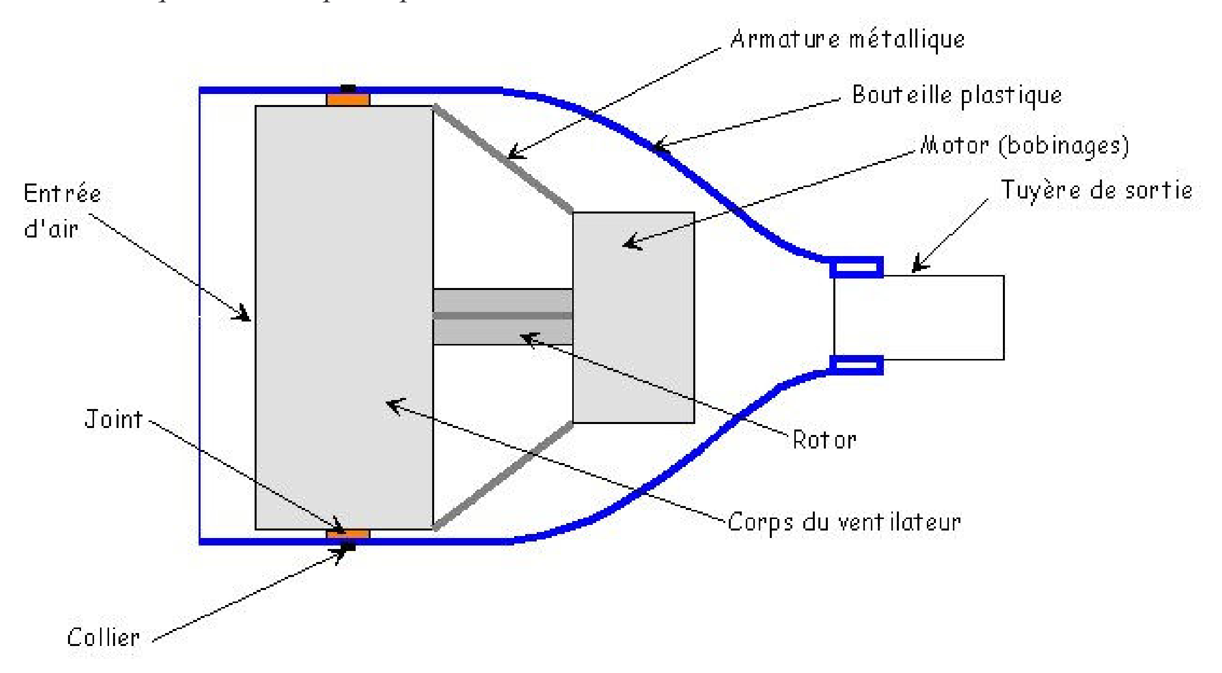
Pour une ventilation de forge, les deux facteurs à prendre en compte sont (1) le débit d'air et (2) la pression

Il existe pas mal de solutions à ce problème : Gros Ventilateur recyclé, sèche-cheveux, soufflet (européen traditionnel ou japonais) et l'aspirateur...

On peut facilement récupérer de vieux aspirateurs et en extraire la soufflerie. Les encombrants fournissent une source inépuisable ! Les pannes des aspirateurs sont souvent localisées ailleurs que sur la soufflerie. Bien souvent, il s'agit de problèmes de contact électrique, raccordements de tuyaux... La soufflerie est en général facilement démontable. Penser à récupérer également le tuyau souple qui peut servir de raccordement entre la forge et la ventilation

Il faut extraire la soufflerie de l'aspirateur. En général, elle est souvent encombrée de poussière, la nettoyer à l'air comprimé. Vérifier l'état de la capacité d'antiparasitage. En cas de doute, l'enlever et la remplacer. Attention, ne pas acheter ce type de composant dans les magasins de pièces d'électroménager où ils sont hors de prix (20 euros).
Tester la soufflerie en la reliant au secteur. Attention au démarrage, elle peut rouler ou bouger de façon significative !

Réalisation
Le premier problème à résoudre est de récupérer le flux d'air et de le concentrer vers un tuyau. Pour cela, la soufflerie sera fixée dans un cône.
On récupérera à cet effet la partie supérieure d'une bouteille d'eau de 5 litres.
-Placer un joint souple (pour l'isolation des fenêtres) autour de la carcasse de la soufflerie. On fera passer le fil électrique à la jonction de ce joint.
-Fendre la bouteille pour y introduire la soufflerie.
-Sertir l'ensemble avec un collier souple.
Un tube en plastique ou en métal sera collé ou inséré au niveau du goulot pour y raccorder le tuyau.
L'ensemble aura un drôle de look , mais c'est efficace !
Voilà un croquis avec les principaux éléments.



2.Mise en place
On pourra adjoindre à cette soufflerie :
> Un variateur de vitesse pour perceuse. On peut en acheter en magasin de bricolage. Il existe des kits dans les magasins d'électronique pour une quinzaine d'euros. Un variateur pour lampe halogène peut aussi convenir. On règle ainsi le débit d'air. A noter que ce type de soufflerie n'étant pas conçu pour être alimenté via un variateur, on peut obtenir des bruits un peu bizarres en fonctionnement !
> Un interrupteur posé au sol près de la forge (interrupteur à pied), permet de commander le tout (au débit réglé par le variateur) uniquement lors des chauffes. On économise ainsi pas mal de charbon.

Ci-contre, la soufflerie (pendue sous ma forge en U) avec au sol le variateur de vitesse et l'interrupteur de commande.



L'inconvénient majeur de ce type de soufflerie est sa puissance, en général beaucoup trop élevée. Elle est également assez bruyante, mais moins que le duo marteau et enclume !

II L'Acier : Notions de base

Voici quelques informations de base qu'il faut connaître pour pouvoir aborder la partie consacrée à la métallurgie.

Le fer est un élément courant. L'écorce terrestre en comporte un fort pourcentage.
Dans la pratique, le fer pur est très rare : Les procédés industriels permettant de passer du minerai au métal laissent toujours quelques impuretés.

Propriétés physiques majeures :
> Numéro atomique : 26
> Densité : 7.87 environ
> Température de fusion : 1538°C
> Conductivité thermique importante
> Conductivité électrique importante

Le Fer possède une propriété essentielle : Le polymorphisme cristallin. C'est à dire que sa structure cristalline change en fonction de la température :
T<A3=912°C : Le Fer est dit Fer Alpha (noté Fer-a). Il est ferromagnétique (il réagit à un aimant)jusque 770°C et paramagnétique au delà. Sa structure cristalline est "Cubique Centré" : Les atomes de Fer sont disposés sur les sommets d'un cube avec un atome au centre du cube.
A3<T<A4=1394°C : Le Fer est dit Fer Gamma (noté Fer-g). Il est paramagnétique (il ne réagit pas à un aimant). Sa structure cristalline est "Cubique Face Centré" : Les atomes de Fer sont disposés sur les sommets d'un cube avec un atome au centre de chaque face du cube.
A4<T<1538°C : Le Fer est dit Fer Delta (noté Fer-d). Il est ferromagnétique. Sa structure cristalline redevient "Cubique Centré".

Le fer "pur" n'est pas utilisé en coutellerie, du moins pour les tranchants.

Pour L'acier
La présence de Carbone en solution dans le fer peut modifier de façon importante son comportement. On a alors un Système Binaire Fe-C.
On distinguera :
> Fer : La présence d'un faible taux de carbone (<0.05%) ne modifie quasiment pas les propriétés du Fer.
> Acier doux : Une proportion limitée de Carbone (entre 0.05% et 0.35%) renforce les caractéristiques mécaniques du fer (résilience). L'acier doux n'est pas trempable.
> Acier : Entre 0.35% et 2% de Carbone, l'acier acquiert une propriété essentielle. Il devient trempable.
En le chauffant au "rouge" puis en le refroidissant rapidement, l'acier acquiert une très grande dureté.
> Fonte : Au delà de 2% de Carbone, c'est de la fonte. La fonte est généralement cassante. Elle n'est pas utilisée en coutellerie.

En coutellerie, on utilise généralement des aciers entre 0.5 et 1.6% de Carbone.

La page sur la microstructure des aciers explique en détail les combinaisons du Fer et du Carbone au sein de l'acier.
Le diagramme de phase Fe-C donne la structure cristalline des aciers en fonction de leur composition (i.e. pourcentage de carbone) et de la température.

Eléments d'alliage
Afin de modifier certaines propriétés de l'acier, des éléments d'alliage peuvent être ajoutés. Les éléments d'alliage les plus courants sont : Chrome, Manganèse, Molybdène, Nickel, Silicium, Tungstène,Vanadium. Les proportions peuvent aller de quelques dixièmes de pour-cent jusqu'à 20% !
Les aciers industriels sont normalisés. La désignation d'un acier permet de connaître sa composition.
Certains éléments "polluants" (soufre, phosphore) sont également présents. Leur proportion doit être limitée.

A.Désignation des aciers

Voici quelques informations pour s'en sortir avec les désignations normalisées (enfin plus ou moins normalisées) des aciers.

Désignation numérique
Cette désignation fait référence à la norme NF EN 10027-2.
Chaque matière est codée sous forme numérique :

X.YYZZ
X : Famille de matière (1 pour l'acier)
YY : Numéro du groupe
ZZ : Numéro d'ordre dans le groupe

Bien évidemment, avec ce système, pas question d'intuition ou de déduction. On connaît ou on ne connaît pas !
Par exemple, l'acier 1.1620 est du XC70.
Ce système de désignation n'est pratiquement pas utilisé hors industrie et quasiment jamais en coutellerie... Devinez pourquoi !

Désignation Symbolique (par utilisation)
Cette désignation fait référence à la norme NF EN 10027-1.
Ce système simple est basé sur l'utilisation de l'acier. Le très connu E24 est un acier de construction mécanique (E) avec une limite d'élasticité de 24 MPa.
Ce système n'est jamais utilisé en coutellerie, car il est dédié aux aciers qui ne se trempent pas

Désignation Symbolique (par constitution physico-chimique)
Cette désignation fait référence à la norme NF EN 10027-1.
Ce système est basé sur la composition chimique des aciers. Le premier renseignement concerne le taux de Carbone. Ensuite, tout dépend de la présence d'éléments d'alliage et de leur teneur.

1.Aciers non alliés
Un acier est dit non allié quand les éléments d'alliage sont inférieurs à un seuil. Le seuil est donné dans la table des éléments d'alliage en fin de page.
Ainsi un acier comportant 0.2 % de Silicium sera malgré tout considéré comme non allié.
Un tel acier est noté par :
- Un préfixe "C" ou "XC"
- Teneur centésimale de Carbone.

Par exemple, un XC65 est un acier non allié à 0.65% de Carbone.

2.Aciers faiblement alliés
Un acier est dit faiblement allié quand un ou plus de ses éléments dépasse le seuil tout en restant inférieur à 5%.
Un tel acier est noté par :
- Teneur centésimale de Carbone.
- La liste des éléments d'alliage (supérieurs au seuil), désignés par leur symbole chimique ou métallurgique et classés par teneur décroissante.
- Des nombres donnant les valeurs des teneurs affectés d'un coefficient. Ces coefficients sont donnés dans le même ordre que la liste des éléments. Si un élément n'a pas de teneur associée, on sait simplement qu'il a une teneur supérieure au seuil, sans plus de précision.

Par exemple, le 90MCV8 est un acier faiblement allié à 0.90% de Carbone, 2 % (i.e. 8 le chiffre / 4 le coefficient) de Manganèse, du Chrome (>0.30%) et du Vanadium (>0.10%).

3.Aciers fortement alliés
Un acier est dit fortement allié quand un ou plus de ses éléments est présent à 5% ou plus.
Un tel acier est noté par :
- Un préfixe "Z"
- Teneur centésimale de Carbone.
- La liste des éléments d'alliage (supérieurs au seuil), désignés par leur symbole chimique ou métallurgique et classés par teneur décroissante.
- Des nombres donnant directement (sans coefficient) les valeurs des teneurs affectés à chaque élément en %.
Si un élément n'a pas de teneur associée, on sait simplement qu'il a une teneur supérieure au seuil, sans plus de précision.

Par exemple, Z100CDV5-1 est un acier fortement allié à 1% de Carbone, 5% de Chrome, 1% de Molybdène et du Vanadium (>0.10%).

4.Eléments d'alliage
Voici une liste des éléments d'alliage couramment inclus dans les aciers.
La table ci-dessous donne pour chacun d'entre eux :

- Nom
- Symbole chimique
- Symbole métallurgique
- Coefficient (utilisé pour la notation des aciers faiblement alliés)
- Seuil (limite en dessous de laquelle l'élément n'est pas inclus dans la description).

Elément	Symbole chimique	Symbole métallurgique	Coefficient	Seuil (%)
Chrome	Cr	C	4	0.30
Manganèse	Mn	M	4	1.65
Molybdène	Mo	D	10	0.08
Nickel	Ni	N	4	0.30
Silicium	Si	S	4	0.50
Tungstène	W	W	4	0.10
Vanadium	V	V	10	0.10

Désignation "maison"
Les industriels de l'acier ont parfois (souvent) leur propre dénomination pour leurs aciers. Il n'y a pas de système précis. On trouve cependant des correspondances dans les catalogues ou sur les sites web.
Ainsi chez Eurotechni, le XC75 s'appelle "DNH7"...
Le "15N20", de plus en plus utilisé pour faire du Damas est du 75Ni8.
(Désignation américaine)
Pour s'y retrouver dans la littérature en Anglais (souvent en provenance des USA), il est nécessaire de parler des désignations US gérées par deux organismes : SAE et AISI. Ces références sont :
(1) Des codes alphanumériques qui n'ont pas grand chose à voir avec la composition chimique de ces aciers, ais plutôt sur l'utilisation de l'acier. Par exemple, on trouvera du D2, W1.
(2) Des codes numériques dont le premier chiffre désigne un ou plusieurs éléments d'alliage. Par exemple, on trouvera du 1080, 52100.

B.Aciers utilisés en coutellerie

De nombreux aciers sont disponibles sur le marché. Le premier travail du coutelier sera d'en choisir un. Mais il ne faut pas prendre au hasard. Il faut conjuguer les qualités demandées à l'acier aux disponibilités...
Voici donc quelques éléments pour faire ce choix.
Lors de l'achat d'un acier, il faut se procurer les informations permettant de le travailler correctement.
Ce n'est qu'avec ces données physiques que l'on pourra correctement le tremper et faire les bons traitements thermiques.
Ces informations sont au minimum :
- Composition chimique
- Température de forgeage
- Température (et si possible modalités) du recuit
- Température et milieu de trempe
- Dureté après trempe
- Courbe pour le revenu (i.e. dureté en fonction de la température)
Aciers pour la coutellerie

La table suivante présente quelques aciers parmi les plus courants.

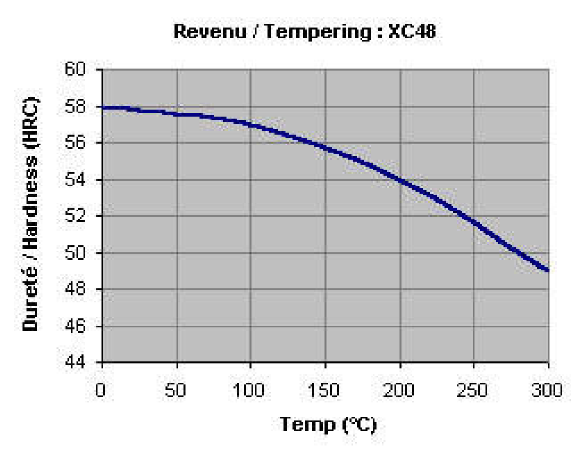
Designation classique	Designation US	Designation numérique	C	Cr	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Commentaire
XC48	±1045	-	0.48	-	0.55	-	-	0.25	-	-	Acier non allié. Un peu léger en dureté.
XC75	±1078	-	0.75	-	0.55	-	-	0.25	-	-	Acier non allié.
XC100	±1095	-	1.00	-	0.55	-	-	0.25	-	-	Acier non allié. Dur.
XC130	-	-	1.30	-	0.55	-	-	0.25	-	-	Acier non allié. Très dur.
135C3	-	-	1.35	-	0.55	-	-	0.25	-	-	Equivalent XC130, mais meilleure trempabilité.
90MCV8	O2	1.2842	0.90	0.40	2.00	-	-	-	0.10	-	Acier à outils.
100C6	52100 = L3	-	1.00	1.50	0.35	-	-	0.25	-	-	Acier à roulement.
55S7	-	-	0.55	-	0.60	-	-	1.80	-	-	Acier à ressort.
Z100CDV5.1	A2	1.2363	1.00	5.00	-	1.10	-	-	0.20	-	Forte résilience
100MCW4	O1	1.2510	1.00	0.60	1.10	-	-	-	-	0.60	Excellente résistance à l'usure.
Z155CDV12.1	D2	1.2379	1.55	12.00	-	1.00	-	-	1.00	-	Acier résistant à la corrosion.

Quelques lignes directrices pour votre choix...
Voici quelques conseils pour vous orienter :
- Bricoles, petits outils, essais : XC48
- Canifs, lames courtes : XC75, 90MV8
- Lames moyennes, ou grandes si pas d'effort : XC75, 90MV8
- Lames longues, bowies, poignard : XC75, 55S7
- Epées, machette : 55S7

Cette liste se limite volontairement à quelques aciers oxydables, non ou faiblement alliés.
En plus, chaque coutelier a souvent ses aciers préférés, qu'il peut facilement se procurer et/ou qu'il a appris à connaître. Quelques aciers dans le détail...

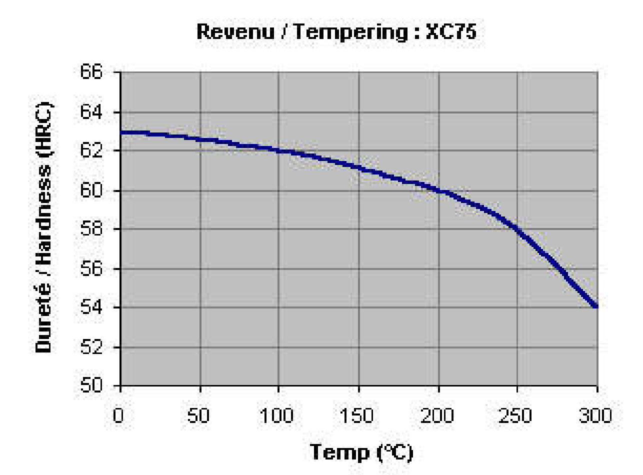
1. Le XC48

Composition chimique :
- Carbone de 0.45 à 0.51%
- Silicium de 0.15 à 0.35%
- Manganèse de 0.4 à 0.7%
Température de forgeage : 850 à 1100°C
Température du recuit : 650 à 700°C
Température et milieu de trempe : 800 à 850°C à l'eau
Dureté après trempe : 58 HRC



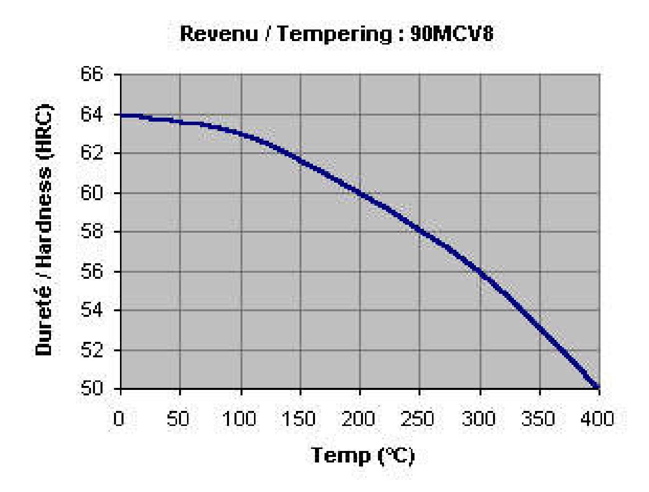
2.Le XC75

Composition chimique :
- Carbone de 0.5 à 0.90%
- Silicium de 0.1 à 0.4%
- Manganèse de 0.5 à 0.8%
Température de forgeage : 850 à 1100°C
Température du recuit : 700 à 720°C
Température et milieu de trempe : 780 à 850°C à l'huile
Dureté après trempe : 62 à 65HRC
Courbe pour le revenu : Voir ci-contre.



3. Le 90MCV8

Composition chimique :
- Carbone de 0.85 à 0.95%
- Silicium de 0.1 à 0.4%
- Manganèse de 1.9 à 2.1%
- Chrome de 0.2 à 0.5%
- Vanadium de 0.05 à 0.15%
Température de forgeage : 850 à 1050°C
Température du recuit : 680 à 720°C
Température et milieu de trempe : 800 à 820°C à l'huile à 80°C
Dureté après trempe : 63 à 65HRC
Courbe pour le revenu : Voir ci-contre.
Attention, cet acier est délicat à recuire. Un recuit dans la vermiculite froide le laisse impossible à percer et à limer (idéal pour abîmer les outils). C'est là que les vieilles limes rendent service !



Faire un recuit lent dans le feu de forge mourant... Le peu de chrome qu'il contient lui fait prendre une légère trempe si le refroidissement n'est pas très lent !

C-Diffusion du Carbone

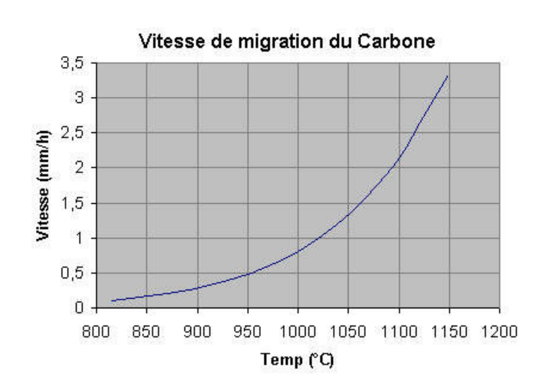
1.Généralités

La diffusion du Carbone dans le fer est à l'origine de nombreux phénomènes. L'acier est composé de Fer et de Carbone. La taille relative des atomes de Carbone et des atomes de Fer fait que les atomes de Carbone peuvent se glisser entre les mailles du réseau cristallin constitué par les atomes de Fer. Sous certaines conditions, ces atomes de Carbone peuvent se déplacer dans le réseau cristallin du Fer : C'est la diffusion.
Comme la nature a horreur du vide, les atomes de Carbone vont migrer des zones les plus riches vers les zones les plus pauvres, pour tendre vers un équilibre (répartition homogène des atomes de Carbone dans le Fer).

2.Influence de la température

A température ambiante, le phénomène de diffusion est pratiquement inexistant ! Mais avec une augmentation de température, il va s'accélérer !
En effet, quand on chauffe la matière, les mouvements des atomes autour de leur position d'équilibre s'amplifient. Cette agitation permet une circulation plus facile des "petits" atomes dans les interstices

La vitesse de diffusion du Carbone dans le Fer reste faible. On l'évalue en général en millimètres par heure.



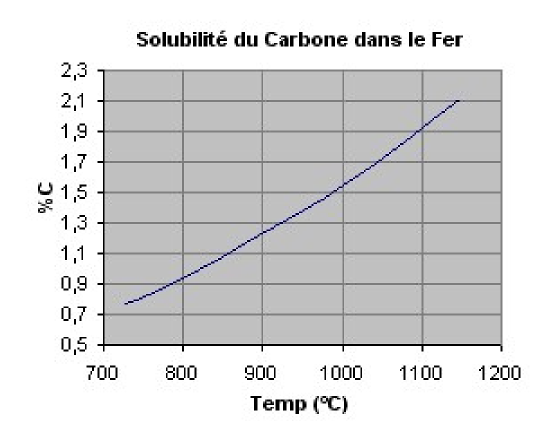
Ci-contre une courbe montrant la vitesse de déplacement du Carbone dans le Fer en fonction de la température. La figure se passe de commentaires !
Cette vitesse peut varier dans les aciers en fonction de la composition.
Conséquence pratique : Décarburation
Quand on place de l'acier dans un environnement pauvre en Carbone et qu'on le chauffe, il a tendance à perdre du Carbone. C'est la Décarburation.
Ce phénomène se produit lorsqu'on chauffe l'acier à la forge dans la zone oxydante, fortement déficitaire en Carbone. Une chauffe forte et prolongée amplifie cet effet !

Dans la pratique, on veillera donc à :
> Ne pas chauffer en zone oxydante.
> Ne pas chauffer trop fort.
> Ne pas chauffer trop longtemps et inutilement.
> Enlever (après la trempe) une fine couche d'acier au niveau du tranchant.
Conséquence pratique : Carburation
A l'inverse, si on place de l'acier (ou du Fer) dans un milieu riche en Carbone, le carbone sera absorbé et diffusera dans l'acier. C'est le principe de la Cémentation.

Comme montré sur la courbe ci-dessus ce processus est lent. Ceci explique les durées pour les cémentations (quelques heures).

La température influera sur :
> La vitesse de transfert du Carbone.
> Le taux de Carbone soluble dans l'Austénite et donc après refroidissement le taux final de Carbone dans l'acier Cémenté.

Voir ci-contre la limite de solubilité du Carbone dans le Fer. Ainsi si on veut obtenir de l'acier à 1.55% de carbone, il faudra faire une cémentation à 1000°C pendant... un certain temps compte tenu de la vitesse de diffusion de 0.8mm/heure !



Le passage d'une corne sur la surface de l'acier rougi pour lui apporter du Carbone est donc une opération inutile puisque le Carbone ne pénétrera que sur quelques centièmes de millimètre, qui partiront au polissage et à l'affûtage !

Migration des autres éléments
Les éléments d'alliage autres que le Carbone ne sont pas concernés par la diffusion. Leur taille ne permet pas leur migration, même à chaud !
A titre d'exemple, un atome de Molybdène met 1.6 années pour se déplacer de 1mm dans de l'acier à 1040°C et 2600 ans dans de l'acier à 820°C.

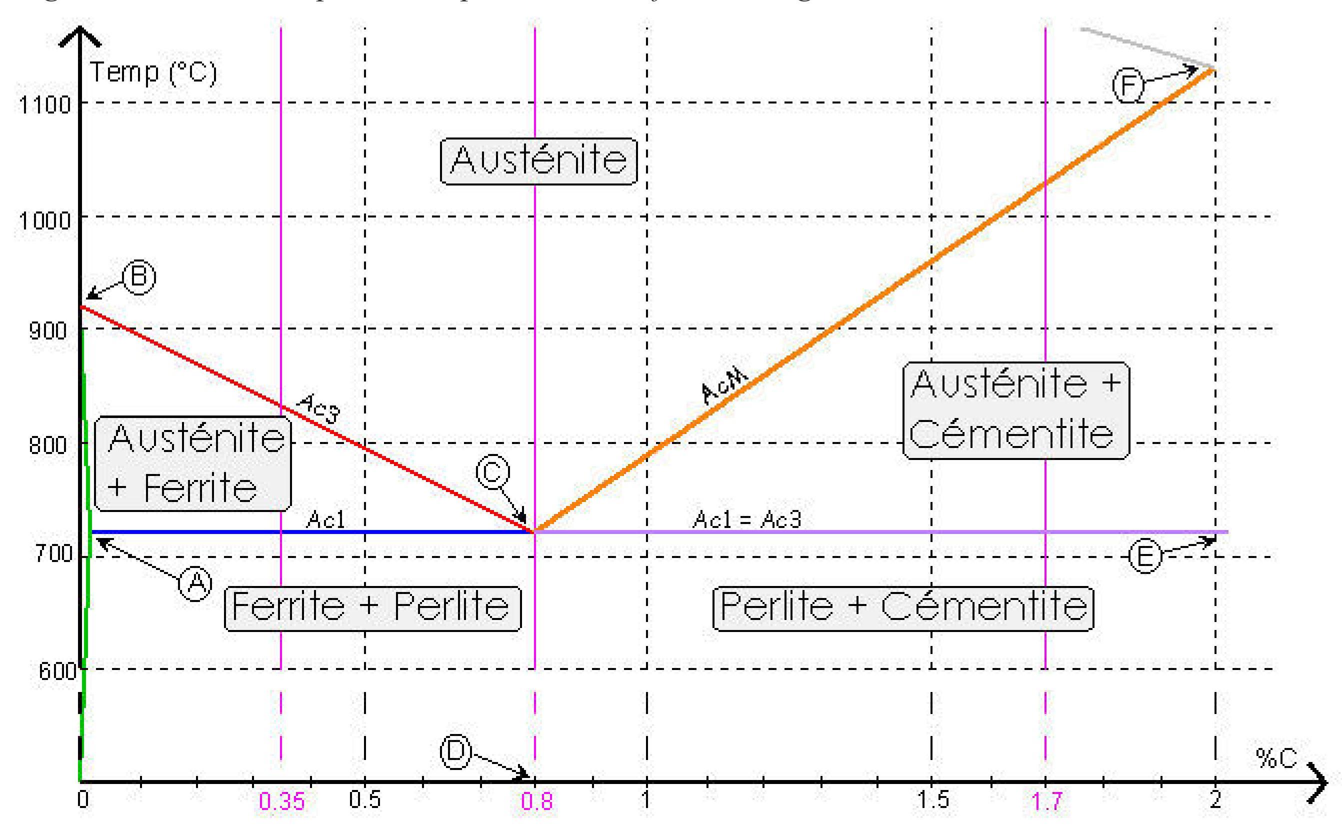
D-Diagramme Fer-carbone

Le diagramme de phase Fe-C est "le" diagramme de base. Il est difficile d'appréhender le travail de l'acier sans avoir connaissance de ce diagramme. Ce diagramme dit binaire est assez simple. Il en va autrement pour les diagrammes ternaires dès que l'on rajoute un élément chimique supplémentaire au Fer et au carbone.

1.Utilisation et limitations

Tout d'abord, il faut bien être conscient des limitations de ce diagramme :
> Il n'a de sens que pour les états stables ou métastables. Les chauffes rapides et les refroidissements brutaux (trempe) ne sont pas modélisés par ce diagramme. Tout simplement, ce diagramme n'intègre pas le facteur "temps". Pour intégrer le facteur temporel, d' autres diagrammes sont nécessaires !
> Il n'est valable que pour les aciers non alliés. La présence d'éléments d'alliage peut modifier considérablement ce diagramme !
> Lors des variations de température, un hystérésis apparaît. C'est à dire que le passage d'un état A à un état B se fera à une température différente du passage de l'état B à l'état A. On distinguera ces deux températures avec le suffixe "c" pour le chauffage et "r" pour le refroidissement (e.g Ac1 et Ar1). L'écart entre ces deux températures se réduit si les variations de température sont lentes.

Un gros merci au "Doc" pour ses explications ! Le fameux diagramme :



2.Types d'acier

Sur le diagramme, on distingue trois zones :

> Les aciers eutectoïdes sont composés de Fer et de 0.77% de Carbone. A basse température, leur structure est uniquement de la Perlite.

> Les aciers hypoeutectoïdes ont un taux de Carbone inférieur à 0.77%. A noter toutefois que seuls les aciers dont la teneur en carbone dépasse 0.35% sont trempables. En coutellerie, on descendra rarement en dessous de 0.5%. A basse température, leur structure est un mélange de ferrite et de Perlite. Moins l'acier contient de carbone et plus la proportion de ferrite est importante.

> Les aciers hypereutectoïdes ont un taux de Carbone supérieur à 0.77%, avec une limite à 2% (au delà, c'est de la fonte). En coutellerie, on ira rarement au delà de 1.6% de teneur en carbone. A basse température, leur structure est un mélange de Cémentite et de Perlite. Plus l'acier contient de carbone et plus la proportion de Cémentite est importante. La Cémentite en excès (i.e. >0.77%) se localisera dans les joints de grain.

3.En synthèse :

Type d'acier
Hypoeutectoïde
Eutectoïde
Hypereutectoïde
%C<0.77
0.77>0.77 et <2
Structure à froid (recuit)
Ferrite + Perlite
Perlite
Perlite + Cémentite

4.Action des montées en température

> La structure des aciers eutectoïdes changent très rapidement quand la température passe au delà de 720°C. La Perlite se transforme en austénite. Ce passage correspond au point C du diagramme.

> Pour les aciers hypoeutectoïdes, c'est un peu plus complexe ! Juste au delà de 720°C (ligne A-C, bleue sur le diagramme), la Perlite se transforme en austénite. Par contre, la Ferrite reste en l'état. Si la température continue d'augmenter, l'Austénite peut exister avec moins de 0.77% de Carbone dissous ! Il y a donc du carbone de disponible pour se combiner avec un peu de Ferrite pour créer de l'Austénite supplémentaire. Ce phénomène s'accentue avec la montée en température. Au delà de la température AC3 (ligne B-C, rouge sur le diagramme), toute la Ferrite est transformée en Austénite.

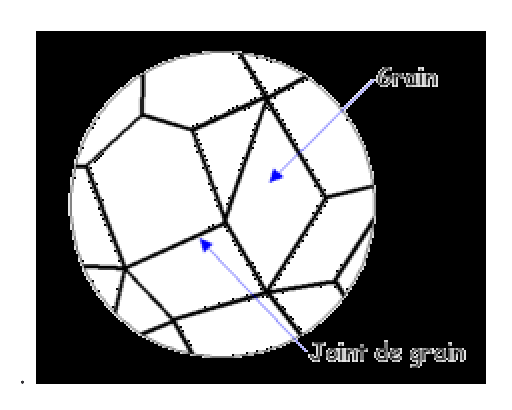
> Pour les aciers hypereutectoïdes d'autres choses se passent, mais c'est toujours complexe ! Au delà de 720°C (ligne C-E, violette sur le diagramme), toute la Perlite se transforme en Austénite. Ceci représente un fort pourcentage de l'acier (en général > 90%). L'excédent reste sous forme de Cémentite (i.e. carbures de fer). Si la température continue d'augmenter, l'Austénite est capable de dissoudre plus de Carbone ! Une partie de la Cémentite est alors transformée en Austénite. Ce phénomène s'accentue avec la montée en température. Au delà d'une température AcM (ligne C-F, orange sur le diagramme), tous les carbures sont dissous.

Zones et points particuliers
Zone verte (O, A, B) : Cette zone particulière n'a pas d'importance en coutellerie, à cause de son faible pourcentage de carbone (i.e. 0.02%).
Point B : Il correspond à la température d'austénisation dans le fer pur soit 910°C.
Point C : Il correspond à l'austénisation d'un acier eutectoïde (720°C).
Point F : Il correspond à la dissolution totale des carbures d'un acier à 2% de carbone soit 1130°C.

E-Grain de l'acier

1.Bases

L'acier n'est pas une matière homogène ! La page sur la Microstructure donne déjà un aperçu. De plus, l'acier est constitué de grains juxtaposés. Chaque grain peut contenir un ou plusieurs constituants, sous forme de lamelles, d'aiguilles ou de perles...
La structure à l'intérieur d'un grain est en général assez régulière. La frontière entre deux grains est appelée "joint de grain". Ce peut être un simple changement d'orientation du réseau cristallin ou bien un espace contenant une ou plusieurs phases de l'acier, comme par exemple de la Cémentite.



Par exemple, un acier hypereutectoïde à 1% de Carbone aura des grains de Perlite (contenant 0.77% de Carbone) et des joints de grain avec de la Cémentite. Globalement la proportion de Carbone est bien de 1%.
Mais à l'échelle macroscopique, l'uniformité n'existe pas ! ! !
Pourquoi s'en préoccuper ?
La taille des grains a une influence majeure sur les capacités mécaniques de l'acier en terme de résilience et de pouvoir de coupe !

Une bonne lame doit avoir un grain fin.

Définition théorique de la taille du grain
Référence française : Norme NF EN ISO 643
Référence USA : ASTM

N°	Diamètre moyen (µ)	Appréciation générale
-1 ou 00	500	Très grossier
0	360	
1	250	Grossier
2	180	
3	125	
4	90	Moyen
5	65	
6	45	
7	32	Fin
8	22	
9	16	
10	11	Très fin
11	8.0	
12	5.6	
13	4.0	Ultra fin
14	2.8	
15	2.0	

Mais toutes ces informations ne sont pas utilisables facilement ! En pratique

F-Microstructure des aciers

L'acier est constitué de Fer et de Carbone. La façon dont ces éléments se combinent dépend de nombreux paramètres et détermine les propriétés de l'acier.
Voici les différentes "combinaisons" connues. Leur obtention est liée aux cycles thermiques (couple Température - Temps) appliqués à l'acier.

Quel est l'intérêt d'étudier la microstructure des aciers ?

C'est simplement parce que les propriétés mécaniques de l'acier dépendent de sa composition et très fortement de sa microstructure !

Microstructure et traitements thermiques sont étroitement liés ! Impossible d'étudier l'un sans l'autre. C'est un point important pour comprendre et donc progresser !
Malheureusement l'observation de la microstructure des aciers demande du matériel spécial dont le moins exotique est le microscope optique...

1.Ferrite

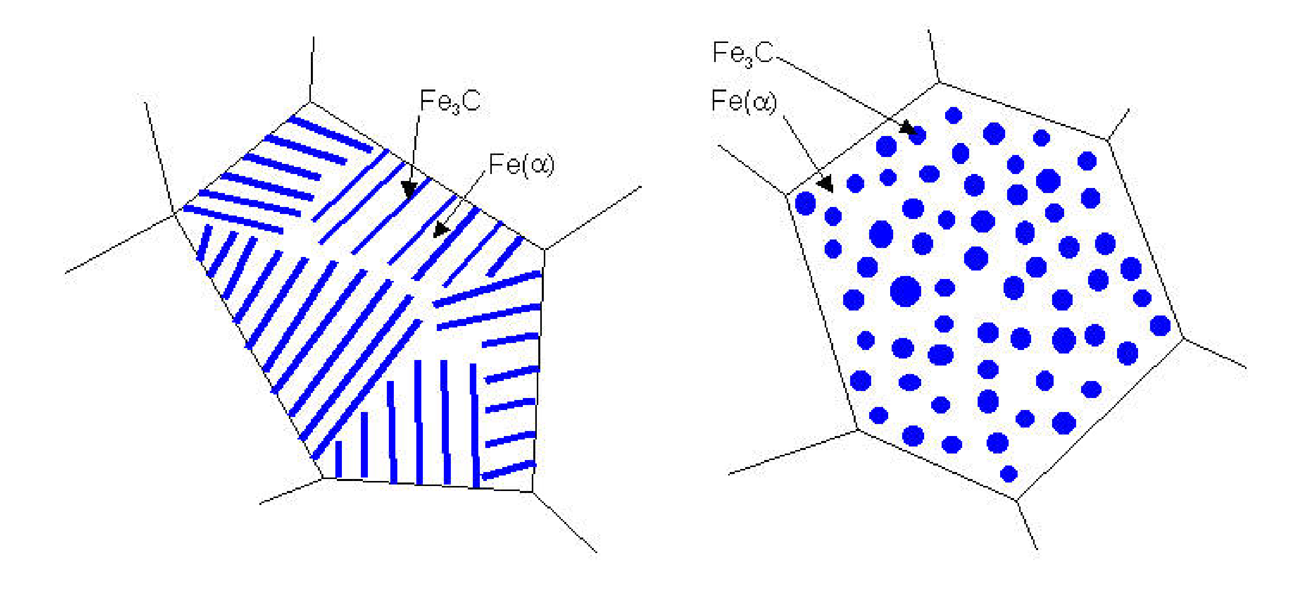
La Ferrite est du Fer-a avec une infime partie de carbone. Le carbone est alors en solution solide d'insertion dans le réseau cristallin ferreux. La solubilité du Carbone dans la Ferrite est très faible. Elle est au maximum de 0.022% à 727°C et décroît quand la température baisse pour atteindre 7x10-7% à 200°C.
Dans la matière, la Ferrite est présente sous forme de Grains. Sa structure de base est cubique centré (CC).
La Ferrite est ferromagnétique.
La Ferrite est une structure tendre et souple. Sa dureté est de l'ordre de 10 à 15 HRC.

2.Cémentite

La Cémentite n'est pas une structure mais un carbure de Fer : Fe3C. La Cémentite contient 6.67% de Carbone (en masse).
La Cémentite ne forme pas de Grain à l'échelle macroscopique. Elle peut se trouver sous différente formes :
> Fines aiguilles,
> Plaquettes,
> Grains microscopiques,
> Sans forme particulière, comme dans les joints de grain des aciers hypereutectoïdes.
Voir par exemple la Perlite ci-dessous.

3.Perlite

La Perlite est composant biphasé comprenant de la Ferrite et de la Cémentite. La Perlite contient 0.77% de Carbone.
Dans la Perlite, la Cémentite peut se présenter sous forme de lamelles ou de globules. Ce sont les cycles thermiques qui permettent de passer d'une structure lamellaire à une structure globulaire ou le contraire.
Sur le croquis ci-dessous : A gauche Perlite Lamellaire. A droite Perlite Globulaire.

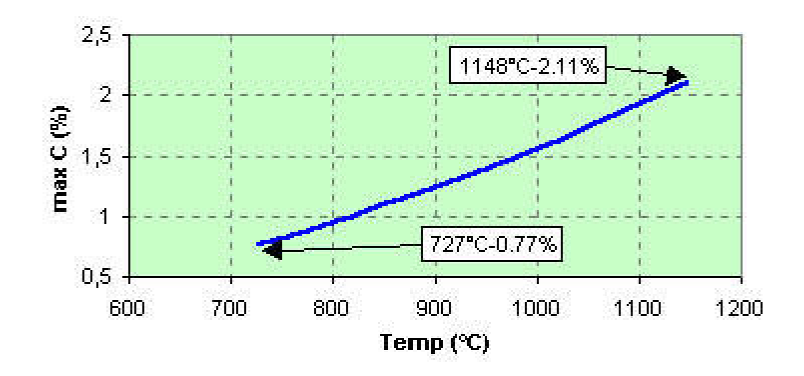


En coutellerie, on aura tendance à rechercher la perlite lamellaire qui est plus dure.
C'est le ratio entre la quantité de Ferrite et de Cémentite qui détermine le taux moyen de Carbone.
Dans la matière, la Perlite est présente sous forme de Grains.
La Perlite est ferromagnétique.
La Perlite est une structure mi-dure. Sa dureté est de l'ordre de 40 à 43 HRC.

4.Austénite

L'Austénite est une solution solide de carbone dans du Fer- g. Sa structure cristalline est cubique à faces centrées (CFC).

La solubilité du Carbone dans l'Austénite dépend fortement de la température : 0.77% à 727°C et jusque 2.11% à 1148°C. Le diagramme ci-contre donne la courbe correspondante.
Cette solubilité est importante car les interstices entre les atomes de Fer sont plus grands dans une structure CFC que CC, permettant à plus d'atomes de Carbone de s'y placer.
L'Austénite est paramagnétique.



5.Bainite
La Bainite est une structure très particulière. Elle se présente sous la forme d'aiguilles ou de plaquettes de Cémentite ordonnées dans une matrice de ferrite. Elle est obtenue par un refroidissement de l'Austénite avec une vitesse intermédiaire entre un refroidissement à l'air et une trempe.
On distinguera la Bainite Supérieure, obtenue à une température plus élevée, a une structure plus grossière que la Bainite Inférieure où les aiguilles de Cémentite sont plus serrées.
La Bainite Supérieure est une structure mi-dure. Sa dureté est de l'ordre de 40 à 45 HRC. La Bainite Inférieure est une structure assez dure. Sa dureté est de l'ordre de 58 à 60 HRC.

6.Martensite
La Martensite est une structure obtenue par un refroidissement rapide de l'Austénite. Les atomes de carbone n'ont pas le temps de migrer pour recomposer de la Perlite ou de la Cémentite. Ils sont pris au piège au sein du réseau cristallin. Lorsque la température passe en dessous d'un certain seuil nommé Ms (pour Martensite Start), la Martensite se crée. Au fur et à mesure de la baisse de température, le pourcentage Martensite crée augmente pour atteindre 100% à une température appelé Mf (pour Martensite Finish). Les températures Ms et Mf dépendent fortement de la composition de l'acier ! Si Mf est inférieure à la température ambiante, toute l'Austénite ne sera pas transformée en Martensite. Cette fraction s'appelle L'Austénite résiduelle. C'est pour réduire cette Austénite résiduelle que certains aciers alliés subissent une trempe cryogénique (pour passer en dessous de Mf).
Le temps n'intervient pas dans la création de la Martensite. Seule la température atteinte détermine le pourcentage de Martensite crée !
Dans les aciers avec moins de 0.6% de carbone, la Martensite crée se présente sous forme d'aiguilles.
Pour les aciers avec plus de 1% de carbone, la Martensite se présente sous forme de plaquettes. Les nuances intermédiaires contiennent un mélange d'aiguilles et de plaquettes.
La Martensite est une structure très dure et très fragile (cassante). Sa dureté est de l'ordre de 65à 66 HRC.

III LA FORGE

A-L'acier et son utilisation

Nulle possibilité de faire de la coutellerie sans parler de l'acier. cette page donne des notions de bases sur l'acier et son utilisation.

1.La matière
L'acier est un alliage de Fer et de Carbone.
Ses qualités sont nombreuses :
- Il peut être travaillé à froid (usinage, abrasion).
- Il peut être travaillé à chaud (forgeage, estampage).
- Ses propriétés mécaniques (dureté, résilience) peuvent être modifiées par des traitements thermiques dont le plus connu est la "trempe".
- Prix raisonnable.

Les aciers utilisés en coutellerie contiennent entre 0.5 et 2% de Carbone.
En deçà de 0.5%, on parle d'acier doux. Ce type d'acier prend mal la trempe.
Au delà de 2%, on parle de fonte qui est une matière cassante.

On peut ajouter à l'acier des éléments chimiques pour modifier ses propriétés. On parle alors d'acier allié. Les aciers non alliés sont appelés "acier au carbone". Ce qui est un pléonasme puisque tous les aciers contiennent du Carbone. Il faut le comprendre comme "seulement du Carbone".

2.Quel acier pour débuter ?
Pour commencer en coutellerie, il faut utiliser un acier simple et performant. Un des plus connus est le XC70. C'est un acier non-allié, avec 0.70% de Carbone. Il est facile à travailler et permet de créer de bonnes lames.
Les nuances proches tels le XC65 ou XC75 peuvent être utilisées.

A l'achat, l'acier est généralement livré à l'état recuit, c'est à dire non trempé. Il est alors à peine plus dur que la "ferraille" et peut être facilement scié, percé ou limé.

3.Utilisation et travail de l'acier
La réalisation d'une lame fera intervenir différentes opérations incontournables dont voici les principales :

Découpe : L'acier recuit peut facilement être découpé avec des outils simples comme la scie, la disqueuse.

Forge : Cette opération est une déformation à chaud de la matière par martelage. A titre indicatif, cette opération s'effectue aux alentours de 750 à 950 °C. La plage de température adéquate varie selon l'acier utilisé.

Abrasion : Sur de l'acier recuit, l'abrasion pourra se faire avec du papier abrasif, des limes, une ponceuse, un touret à meuler, une disqueuse... Sur l'acier trempé, il faudra éviter les limes. Il faudra de plus ne pas surchauffer l'acier sous peine de le détremper.

Recuit : Ce traitement thermique consiste à chauffer l'acier puis à le laisser refroidir. Il existe plusieurs types de recuit. Le plus connu est le recuit de détente. Il permet de réduire les tensions internes suite au travail de l'acier.

Trempe : Ce traitement thermique consiste à chauffer l'acier "au rouge", puis à le refroidir rapidement dans de l'eau ou de l'huile. Ce traitement permet de durcir l'acier, mais le rend fragile.

Revenu : Ce traitement thermique suit la trempe. Il faut chauffer la lame vers 200°C à 250°C, la maintenir un moment et la laisser refroidir. A l'issue de cette opération, l'acier a perdu un peu de dureté mais a énormément gagné en résilience. On peut effectuer cette opération dans un four domestique.

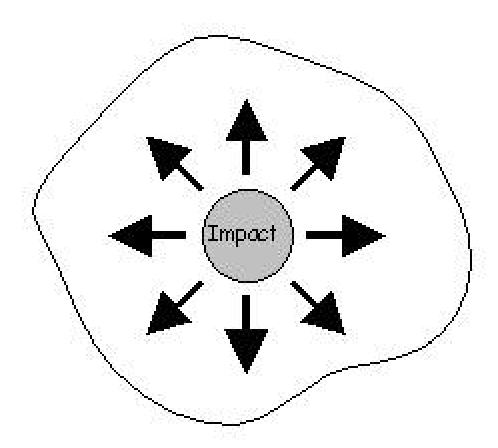
Polissage : Cette opération améliore l'état de surface de l'acier. Le polissage peut se faire manuellement avec du papier à poncer, des pierres ou via des machines.

4.Exercices de forge

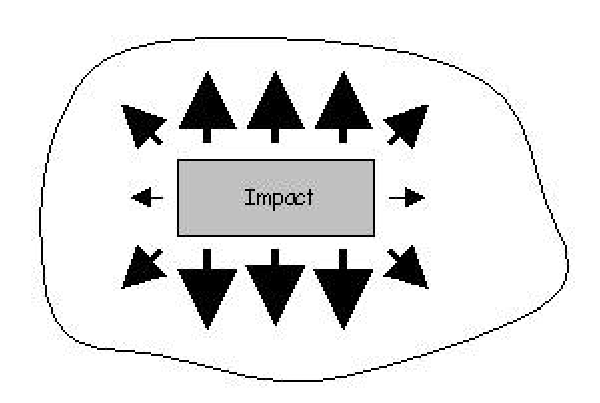
Cette page propose des exercices de forge. L'objectif est la maîtrise des opérations élémentaires qui permettront en les combinant de réaliser une bonne lame.
Idéalement, il est souhaitable d'apprendre sous la tutelle d'un forgeron. Ces quelques indications ne remplaceront pas un prof, quand on en a la chance d'en avoir un !
Bien entendu, il faut posséder un minimum d'outillage : Foyer de forge et combustible, enclume ou tas, marteau(x), tenaille(s)...

Principe du fluage
C'est LE principe qu'il faut comprendre pour pouvoir forger ! Quand on tape sur l'acier, il perd de l'épaisseur et la matière est poussée sur les cotés. Cet effet est prononcé lorsque la surface d'impact est bombée plutôt que plane. En fonction de la forme du marteau qui frappe, la matière peut se déplacer selon un axe privilégié :

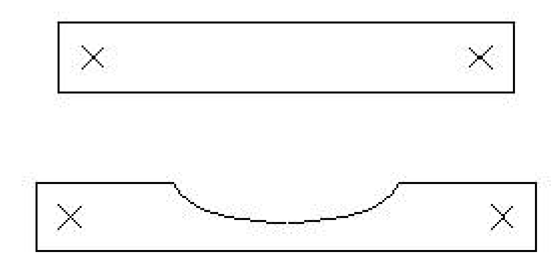
Lors d'un impact circulaire, la matière est chassée de façon homogène.



Lors d'un impact rectangulaire, la matière est plus fortement chassée le long des grands cotés.



La diminution d'épaisseur se traduit aussi par un allongement de la pièce dans l'axe des déformations les plus importantes. Le figure ci-contre montre la pièce en coupe et de profil avant et après impact.



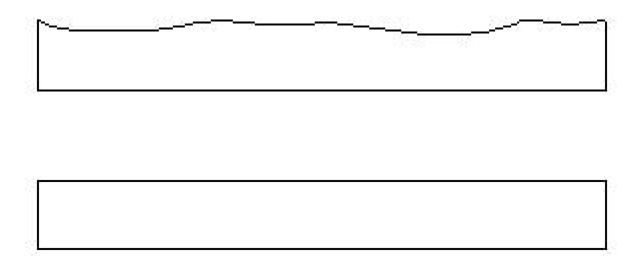
Les points de repère (X) montrent bien l'augmentation de longueur de la pièce.

Planage

Lorsque le marteau a frappé de nombreuses fois une pièce, l'état de surface de celle-ci se présente comme une juxtaposition de creux plus ou moins réguliers... Il faut alors planer la pièce pour lui donner un bon état de surface. Pour cela deux méthodes :

- Chasse à parer. C'est un outil avec une face plane que l'on pose sur la pièce. On frappe sur le dessus au marteau pour planer. On déplace la chasse à parer sur toute la surface à travailler. Le problème est qu'il faut être deux pour utiliser une chasse à parer. En effet, il faut tenir la pièce, la chasse et frapper avec le marteau...

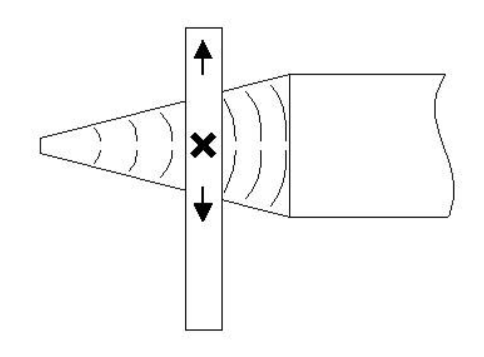
- Marteau. Une frappe délicate et régulière au marteau permet d'arriver au même résultat ! C'est juste un peu plus difficile et un peu plus long. C'est la meilleure façon de faire quand on travaille seul.



***E**tirement*

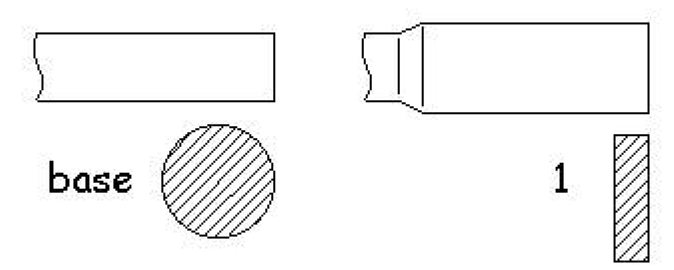
L'étirement est une opération fondamentale du travail de forge. Il consiste à allonger une barre tout en diminuant sa section. On peut pratiquer de deux façons différentes :

- Sur la bigorne de l'enclume : Dans ce cas le fluage se fait par le dessous. C'est la partie bombée de la bigorne qui permet l'écrasement et l'allongement du métal. La figure à gauche indique la position de la barre et la croix la zone d'impact du marteau.



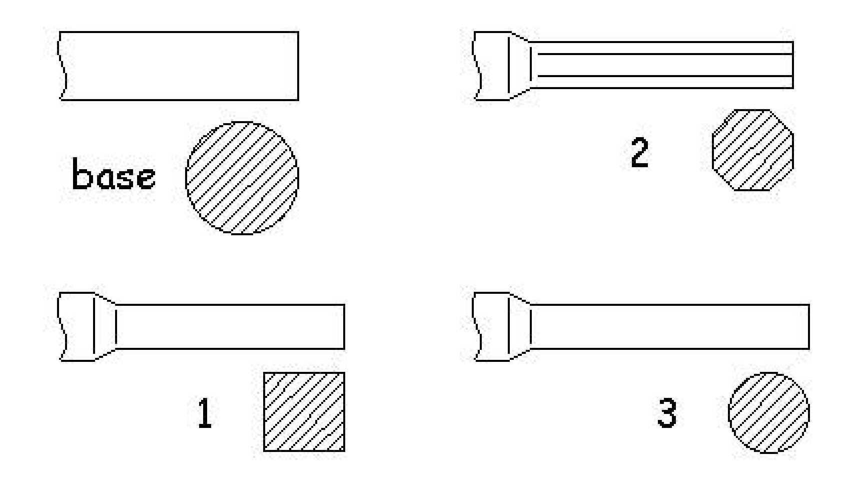
- Marteau : Il faut utiliser un marteau bien bombé ou avec une panne en travers plus étroite (et bien entendu bombée). On travaille sur le plat de l'enclume et le fluage se fait par le dessus.
En général, il faut planer les surfaces après l'étirement.
Bien souvent, le forgeron combinera ces deux possibilités. Il travaillera sur la bigorne ronde et utilisera un marteau bien bombé !
Pour des étirements sur de grandes longueurs, il conviendra de rectifier souvent la forme résultante, en la planant et la redressant.

Méplat
Au cours de cet exercice, on façonnera un méplat à partir d'un rond. Cet exercice banal prend tout son intérêt si on souhaite des dimensions précises. Par exemple, passer d'un rond de 10 à un méplat de 3x12.



On écrasera fortement la barre pour commencer à former la section rectangulaire. Puis, on travaillera sur la tranche pour achever la section. Ensuite, travailler sur toutes les faces pour une meilleure régularité. Etirer pour ajuster les dimensions. Redresser régulièrement le méplat.
Pour compléter cet exercice, il faudra s'entraîner à :
- Diminuer la largeur d'un méplat en conservant l'épaisseur.
- Diminuer l'épaisseur tout en conservant la largeur.

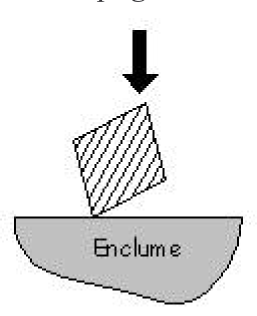
Modification de section
Au cours de cet exercice, on fera passer une barre de métal ronde par des sections carrée, octogonale puis de nouveau ronde.



On pourra commencer cet exercice sur une petite longueur (10cm) avant de se tester sur de plus grandes longueurs.

(1) Carré : On travaillera sur la partie plate de l'enclume. Il faut écraser le rond selon deux axes orthogonaux. Si on tient le rond avec une pince, on travaillera en général sur deux faces. Si on tient le rond à la main, il sera plus facile de travailler sur les quatre faces. Dans tous les cas, il faut travailler alternativement sur les deux axes orthogonaux ("forger et contre-forger").

Défauts possibles :
- Angles arrondis ou mauvais état de surface. Plusieurs causes sont possibles. La plus probable est un mauvais "coup de marteau". La panne est mal contrôlée et ne frappe pas toujours le métal à plat. Veiller aussi à bien faire reposer la pièce à plat sur l'enclume.
- Losange. L'angle entre les deux axes ne fait pas 90 degrés. C'est le défaut le plus difficile à rattraper ! Il faut positionner la barre en porte-à-faux sur l'enclume et taper dessus pour exercer une sorte de cisaillement (voir croquis ci-contre). Il est souvent nécessaire de refaire une passe de finition après ce genre de rattrapage.

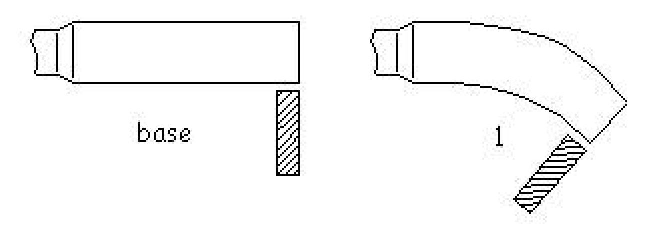


- Section rectangulaire. Un axe a été plus travaillé que l'autre. On peut rectifier facilement en écrasant la plus grande largeur.
- Vrille. Ce défaut se produit souvent sur les grandes longueurs. Il traduit un léger défaut d'appui de la pièce. On peut rectifier au fur et à mesure du travail.

(2) Octogonal : La passage du carré à l'octogone se fait en "cassant" les quatre angles de la section carrée. Pour cela, on placera le carré sur l'enclume posé sur un angle. Puis on tapera délicatement sur l'angle du dessus. On cassera ainsi successivement tous les angles. La difficulté est de bien proportionner l'octogone.

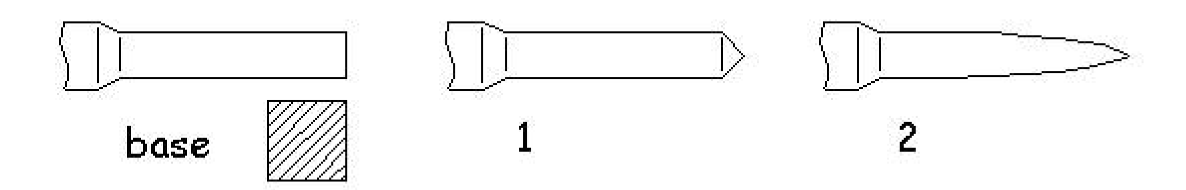
(3) Rond : Un retour à une section ronde se fait en cassant tous les angles de la section octogonale...
Il faudra veiller à ne pas créer de surfaces. Pour cela, on fera tourner la barre sur son axe lors des frappes.

Courber un méplat
Cet exercice de préparation à la forge des lames est fort simple. Il faut partir d'un méplat et lui donner une courbure, sans le vriller et en conservant l'épaisseur. Le croquis ci-contre est explicite.

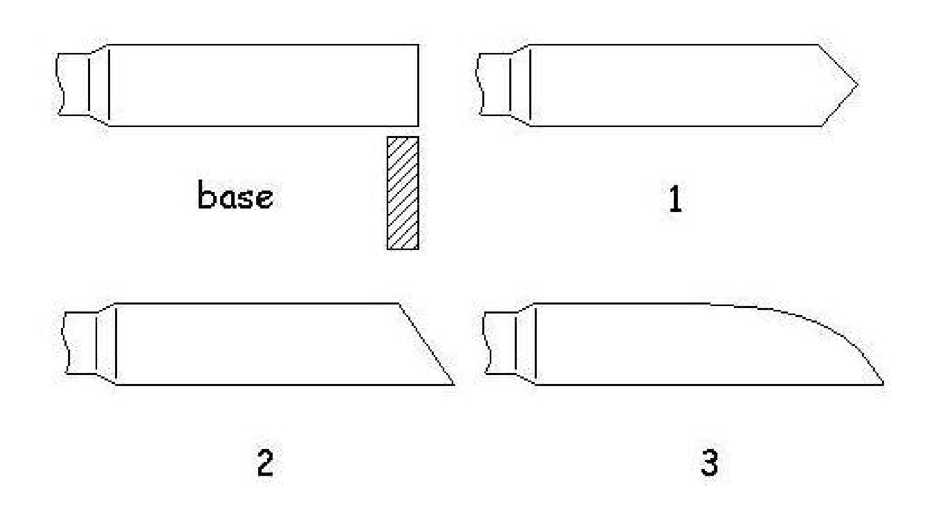


On travaillera alternativement :
- Sur la bigorne et le méplat sur la tranche pour la courbure.
- Sur le plat de l'enclume pour rectifier l'épaisseur.

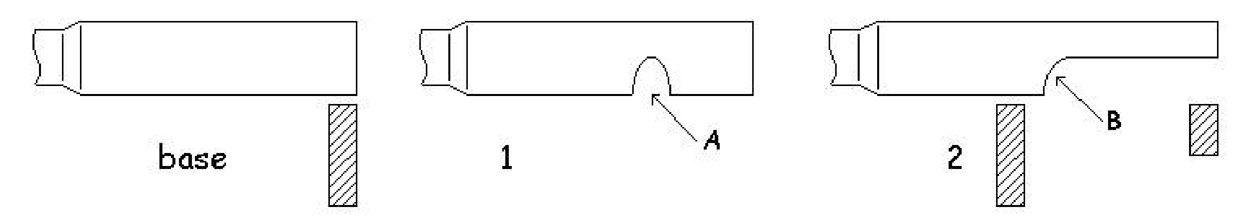
Appointi
Cet exercice consiste à faire une pointe au bout d'un carré. On commencera par façonner une "pyramide" au bout du carré. Puis on fera "remonter" l'arête pour affiner la pointe. On peut continuer jusqu'à faire disparaître cette arête.



Pointe biseautée
Cet exercice consiste à forger une pointe en biseau au bout d'un méplat. On commencera par casser les deux angles. Pour cela on frappe en bout et à 45°. On rectifie souvent l'épaisseur. Cette méthode évite la formation d'une lèvre ou d'un pli qui affaiblirait la pointe. On rabat l'angle ainsi formé. Puis on arrondit le biseau si nécessaire...



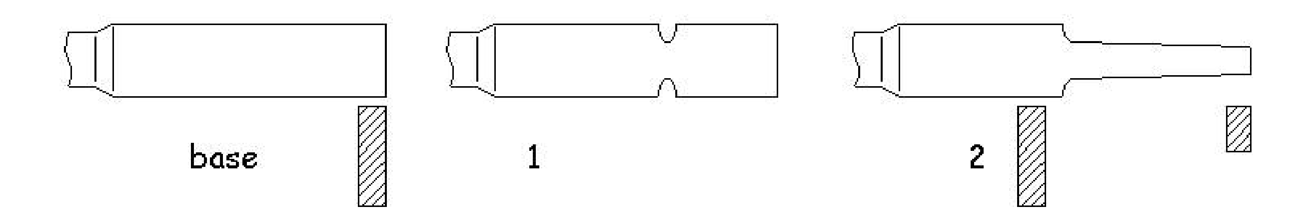
Décrochement simple
Il s'agit de réaliser un changement rapide de section. On garde l'épaisseur du méplat mais sa largeur diminue brusquement à partir d'un endroit. C'est le genre de travail utilisé pour la tige de blocage d'un piémontais ou pour forger une petite boucle à l'extrémité d'un manche en plate-semelle.



Dans un premier temps, on marquera le décrochement en "A". Pour cela, on pourra utiliser :
- La bigorne ronde de l'enclume. C'est approprié si on souhaite une transition douce ou arrondie entre les deux sections. Attention, le plus petit "rayon" de la bigorne n'est pas si petit que ça ! On posera le méplat sur la tranche et on frappera puissamment par le dessus pour faire un creux.
- Une arête de l'enclume. On placera le méplat à 45°.
- Un dégorgeoir. C'est un outil spécialisé qui s'insère dans le trou carré de l'enclume. C'est le même principe qu'avec la bigorne, mais le rayon est beaucoup plus faible !

La partie excédentaire (à droite de "A" sur le croquis) sera ensuite étirée. La forme finale en "B" dépendra de ce qui a servi à marquer le décrochement...

Double décrochement
C'est l'opération qui permet de "sortir" une soie. C'est très proche de la technique évoquée ci-dessus.



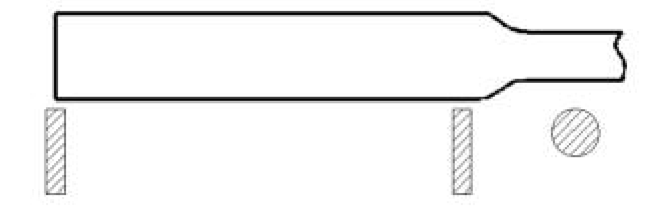
Il faut faire deux marques, en veillant à leur alignement. De même, la partie excédentaire sera étirée. Dans le cas d'une soie, on veillera à créer une conicité en largeur et en épaisseur.

Et voilà, avec ces quelques exercices, nous avons fait le tour des bases nécessaires à la forge des lames.

B.Forge d'une lame
Voici étape par étape, le processus de fabrication d'une lame de couteau. Je ne détaille ici que la partie tranchante. Pour le manche, d'autre pages indiquent comment faire une soie ou une lame de piemontais...

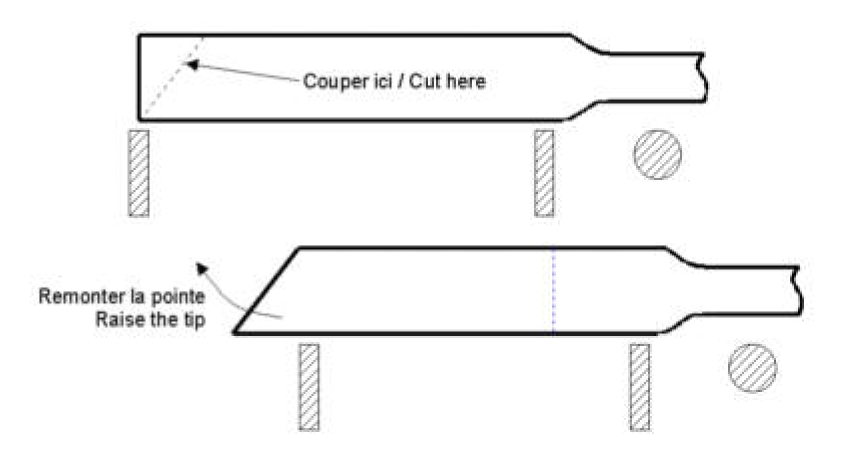
1.Conseils généraux
Lors de la forge d'une lame, garder à l'esprit les points suivants:
> La forge est une activité demandant une certaine attention. En conséquence, pour faire du bon travail éviter les distractions. En papotant pendant que la lame est en chauffe dans le foyer, le risque de "brûler" l'acier est fortement accru !
> Attention à la température de travail. Trop chaud ; le grain grossit. Trop froid ; Pas d'efficacité et en plus on risque de créer des fissures qui feront casser la lame à la trempe...
> Il faut veiller à donner le même nombre de coups de marteau sur chaque face de la lame, pour éviter les déformations aux normalisations ou pire à la trempe.

2.Méplat
La première étape est d'obtenir un méplat de taille convenable :
> En largeur, prévoir une dimension égale à la largeur maximum de la future lame, plus une petite marge (genre 2mm).
>épaisseur, prévoir une dimension égale à l'épaisseur maximum de la future lame, plus une petite marge (genre 1mm). En général, l'épaisseur maximum se situe au niveau du ricasso.



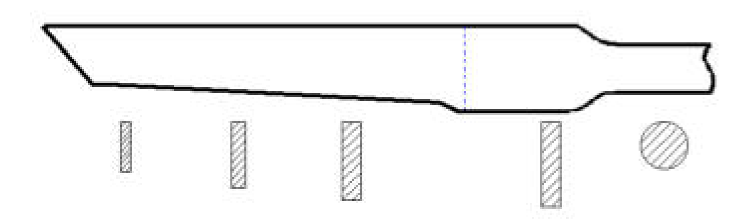
3.Pointe

Il faut maintenant biseauter la pointe. On coupe le coin supérieur de la future lame, comme indiqué par le pointillé sur la figure ci-dessous à gauche. On remonte ensuite la pointe créée vers le haut. On veillera, lors de cette opération, à conserver l'épaisseur du méplat.
Cette façon de procéder permet de conserver un bon "fibrage" de l'acier.
La ligne bleue en pointillé représente la limite tranchant / ricasso. Pour éviter les erreurs, on pourra la repérer sur la lame. Pour cela faire une petite marque à la lime, le reste aura du mal à supporter la chaleur du foyer.



4.Préforme

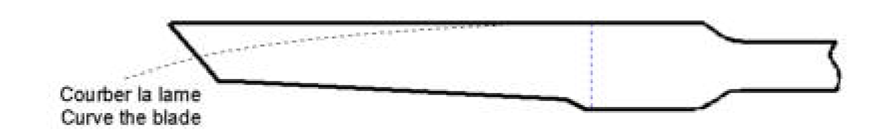
Avant de "sortir le tranchant", il faut préformer la lame. La création du tranchant se fait en amincissant à chaud la bordure du méplat. Du fait du fluage de la matière, cette opération provoque une dilatation de la matière qui permet (entre autres) d'augmenter la largeur de la lame. On commence donc par diminuer la largeur de la lame. On profite de cette occasion pour donner une meilleure forme à la pointe de la lame.



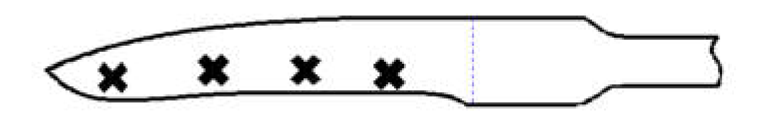
Attention entre la diminution de largeur et la diminution d'épaisseur, la lame s'allongera (d'où l'utilité d'un point de repère sur la lame). Compter sur un allongement de 20% à 30% en fonction de variations de cotes !

5.Précourbure

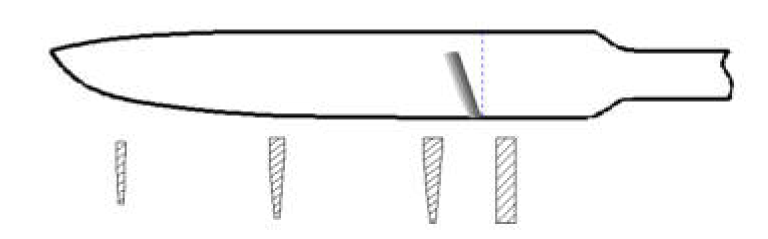
Avant de "sortir le tranchant", il faut déformer la lame. La création du tranchant se fait en amincissant à chaud la bordure du méplat. Du fait du fluage de la matière, cette opération provoque aussi une dilatation de la matière, mais d'un seul coté de la lame. La lame a alors tendance à se courber vers le haut. La pré courbure de la lame permet d'anticiper ce phénomène en donnant avant une courbure inverse !



6.Tranchant
L'étape la plus délicate est de "sortir le tranchant". Il faut diminuer l'épaisseur de la lame pour affiner la pointe et créer le tranchant. On diminuera progressivement l'épaisseur en partant du dos de la lame pour arriver au tranchant où on laissera entre 0.5 et 1mm de matière.



7.Final
Voilà à quoi ressemblera la lame en fin de forge. La zone grise à proximité du ricasso est une zone délicate : Elle fait la transition entre le profil rectangulaire du ricasso et les biseaux du tranchant.



Il n'y a plus qu'à détacher la lame. La suite du travail se fera maintenant sur la partie correspondant au manche, en tenant la lame "par la pointe" avec une tenaille.

C.Fabrication complète d'une lame de couteau forgée

Voici les opérations successives aboutissant à une lame utilisable. C'est principalement une check-list destinée aux néophytes. Les différentes opérations ne sont pas détaillées ici...

1.Conseils généraux
Quelques points majeurs à rappeler :
> Avoir une idée de ce que l'on veut obtenir. Pour un premier essai, se limiter à des dimensions raisonnables, comme une lame de 100 mm de long sur 25 mm de large et 3 à 4 mm d'épaisseur.
> Choisir un acier "simple", comme le XC75. Eviter les matériaux de récupération dont on ignore les caractéristiques.
> Commencer les opérations de forge en chauffant bien l'acier (rouge-orangé). Puis comme la forme se précise et que les déformations engendrées diminuent, diminuer également la température de travail.
> Ne pas forger trop froid. Remettre la pièce en chauffe dès qu'elle devient trop sombre.
> Pour un premier couteau, le forgeage d'une lame en plate-semelle est plus simple.

2.Fabrication d'un méplat
La première chose à faire est de créer un méplat dont la section doit correspondre à la section la plus large du couteau. Dans notre exemple, on cherchera à obtenir un méplat de 25x4. On peut par souci de facilité partir directement d'un méplat standard aux dimensions ad hoc.
Ne pas passer à l'étape suivante tant qu'un méplat correct n'est pas obtenu.
Il faut avoir suffisamment de longueur pour la lame et le manche.
Quelques informations de détail sur le planage, l'étirement et la fabrication d'un méplat.

3.Mise en forme de la lame à la forge
Affiner la pointe. Et sortir progressivement le tranchant tout en redressant la lame. Veiller à laisser un peu de matière sur le tranchant (environ 1 mm, voire plus sur les lames longues).
Voir les détails de fabrication d'une Forge d'une Lame de couteau.
Un travail similaire pour la forge d'une lame d'un couteau intégral.

4.Recuit
Chauffer l'acier à température de trempe. Laisser refroidir lentement dans le feu de forge mourant (toute la nuit) ou dans un bac rempli de vermiculite (quelques heures).

5.Normalisations
Chauffer l'acier à température de trempe. Laisser refroidir à l'air libre. On peut réchauffer dès que la lame est sombre. Il est conseillé de faire au moins trois normalisations.

6.Emouture grossière
Cette étape permet d'affiner le travail fait à la forge. Elle se fait par abrasion. De nombreux outils différents peuvent être utilisés. Le plus simple est de travailler à la lime.
Commencer par fignoler le contour de la lame. Puis faire les plats (ricasso, semelle). Pour finir, travailler sur le tranchant. Laisser un demi millimètre de matière au tranchant. Pour plus de détails, voir la mise en forme d'une lame à lime.

7.Trempe
Chauffer la lame à température de trempe (rouge). La sortir avec les tenailles et tremper rapidement dans le milieu adéquat.
Dès que la lame est froide, vérifier que la trempe s'est bien passée en testant le tranchant avec une lime.

8.Revenu
Mettre immédiatement la lame dans un four préchauffé à la température de revenu (en général de 200 à 240 °C). Faire deux cycles successifs en laissant la lame refroidir totalement entre.

9.Finition
Travailler les surfaces avec des abrasifs de plus de plus fins, jusqu'au niveau de finition souhaité.

D-Généralités sur les traitements thermiques

Les traitements thermiques sont indispensables à la fabrication d'une bonne lame ! Cette page présente quelques informations à connaître avant de voir en détail les principaux traitements thermiques.

1.Bases
Le terme "Traitement thermique" désigne des opérations de chauffage et de refroidissement, contrôlés dans le temps, afin de donner à l'acier des propriétés adaptées à l'utilisation future.
Les traitements thermique agissent sur la structure macroscopique et l'état mécanique de l'acier, sans en altérer la composition.
La métallurgie traditionnelle et artisanale fait principalement appel au refroidissement continu. Les techniques de métallurgie moderne utilisent de plus en plus de traitements isothermes.

2.Température et couleur
Lors des chauffes, l'observation de la couleur de l'acier reste un bon indicateur. Pour que cette méthode soit fiable, il est nécessaire d'observer l'acier dans la pénombre.
Il faut toutefois noter que l'interprétation des couleurs peut varier d'un individu à l'autre !
Le tableau ci-dessous est donc donné à titre indicatif...

Depuis l'antiquité, des générations de forgerons ont fabriqué de remarquables objets avec ces points de repère !

Température	Couleur	Exemple
550 °C	Brun	
660 °C	Rouge Foncé	
780 °C	Rouge	
860 °C	Orange Rouge	
930 °C	Orange	
990 °C	Orange Clair	
1050 °C	Jaune	
1200 °C	Blanc	

3.Perte de magnétisme

Lors de l'Austénisation de l'acier, celui va devenir paramagnétique. Lors des montées en température, on pourra contrôler l'apparition de ce phénomène avec un aimant.
Attention, l'austénisation sera totale lorsque toute trace de magnétisme aura disparu ! En conséquence, il faut choisir un aimant puissant. Il faut également détecter de petites attractions. Personnellement, je suspends mon aimant au bout d'une ficelle près de la forge. En approchant la pièce, je peux vérifier la perte de magnétisme de façon assez fine, en observant les déviations de l'aimant. J'ai ainsi une sensibilité accrue par rapport à un aimant tenu dans la main tout en évitant le rayonnement thermique
En cas d'utilisation intense, penser à refroidir l'aimant de temps en temps avec un peu d'eau froide.(un aimant chaud perd ses qualités d'aimantation)

4.Cycles thermiques

Les traitements thermiques se font via des cycles thermiques. Un cycle thermique est une combinaison des facteurs température et temps. Autrement dit, c'est une courbe de température en fonction du temps.
Dans le détail des traitements thermiques, je fournis les cycles typiques. Afin d'en faciliter l'interprétation, j'utilise les notations suivantes :
> Trait Bleu : Chauffe modérée, typiquement dans un feu de forge ou une forge à gaz.
> Trait Vert : Palier, maintien à température constante.
> Trait rose : Refroidissement très lent, typiquement dans de la vermiculite, du sable, ou de la cendre.
> Trait violet : Refroidissement modéré, typiquement dans l'air.
> Trait rouge : Refroidissement rapide, typiquement dans l'eau, l'huile ou le goop.

E-Diagrammes avec le facteur Temps

Le diagramme binaire Fe-C donne beaucoup d'informations, mais sa lacune majeure est de ne pas intégrer l'impact du temps !
Les métallurgistes utilisent en complément d'autres diagrammes. Il n'est pas absolument nécessaire de les connaître parfaitement pour faire de bons couteaux, mais leur compréhension permet de mieux cerner les principes importants.

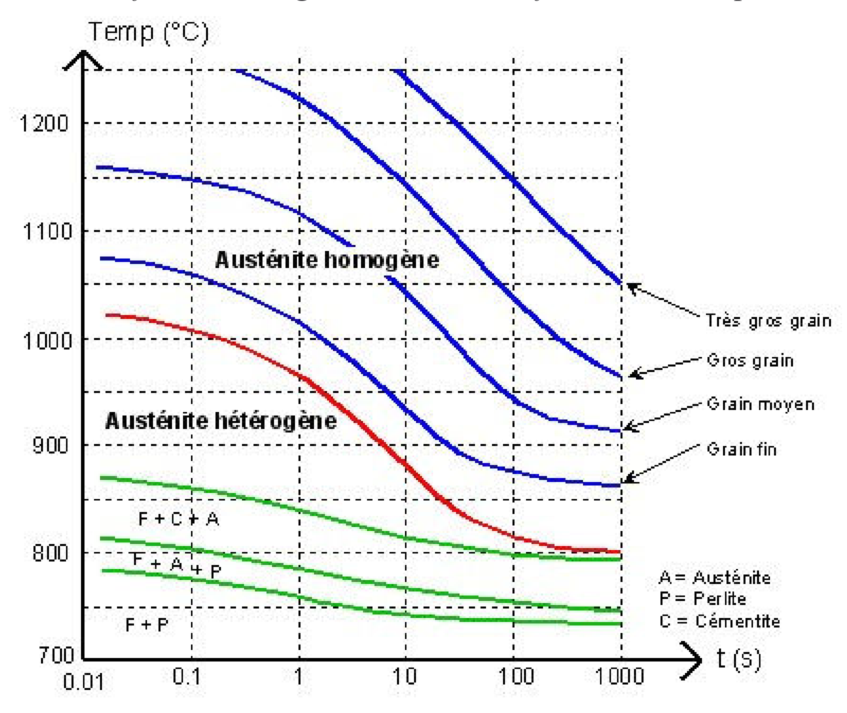
1.Le temps

Les transformations de structure de l'acier dépendent de la température et du temps. En effet, les changements de structure ne sont pas immédiats. De plus, les variations de température mettent du temps pour pénétrer la matière.

Si on souhaite une pièce avec une température homogène, il faut la maintenir à la température souhaitée pendant un "certain temps"... Pour les travaux de coutellerie, compter environ une minute par millimètre d'épaisseur de la lame.

2.Austénisation

Pour la majorité des traitements thermiques, il faut amener la lame à l'état austénitique. Le diagramme présenté ci-contre (pour un acier 35CD4), est le diagramme d'austénisation. On y trouve des informations sur l'apparition de l'austénite en fonction de la température et du temps ainsi que les modifications du grain de l'acier en fonction de température et du temps.



Ce genre de diagramme est rarement disponible pour un acier donné. Mais cet exemple permet de comprendre le processus de formation de l'Austénite et l'impact d'un maintien prolongé à différentes températures.

L'objectif est de passer au dessus de la ligne rouge (Austénisation totale et homogène). Il faut simultanément limiter le grossissement du grain, en évitant de maintenir un palier de température trop longtemps.

En résumé : Il ne faut pas trop chauffer et pas trop longtemps !

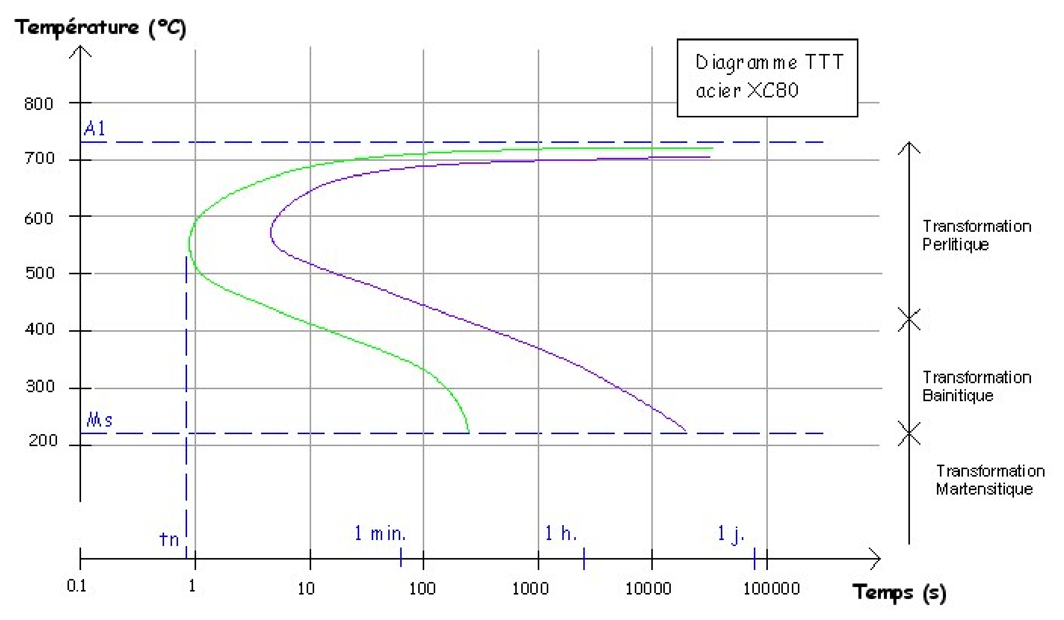
3.Diagramme TTT

Les métallurgistes utilisent un diagramme complémentaire : Le diagramme TTT (Temps-Température-Transformation), également appelé diagramme de transformation isotherme. Il permet de déterminer les changements les structures de l'acier, à température constante. Il est donc d'une utilité modérée, puisque les moyens nécessaires à ce genre de transformations sont spécifiques (bains de sels), peu courants et onéreux !

On préfère généralement consulter le diagramme TRC, plus proche des conditions usuelles. Bien entendu, il existe un diagramme TTT pour chaque acier.

La forme et la position du "Nez" de la courbe donne une indication du temps dont on dispose pour refroidir l'acier lors d'une trempe.

L'exemple ci-dessous donne la courbe TTT du XC80 :



On voit que le temps "tn" est inférieur à la seconde !

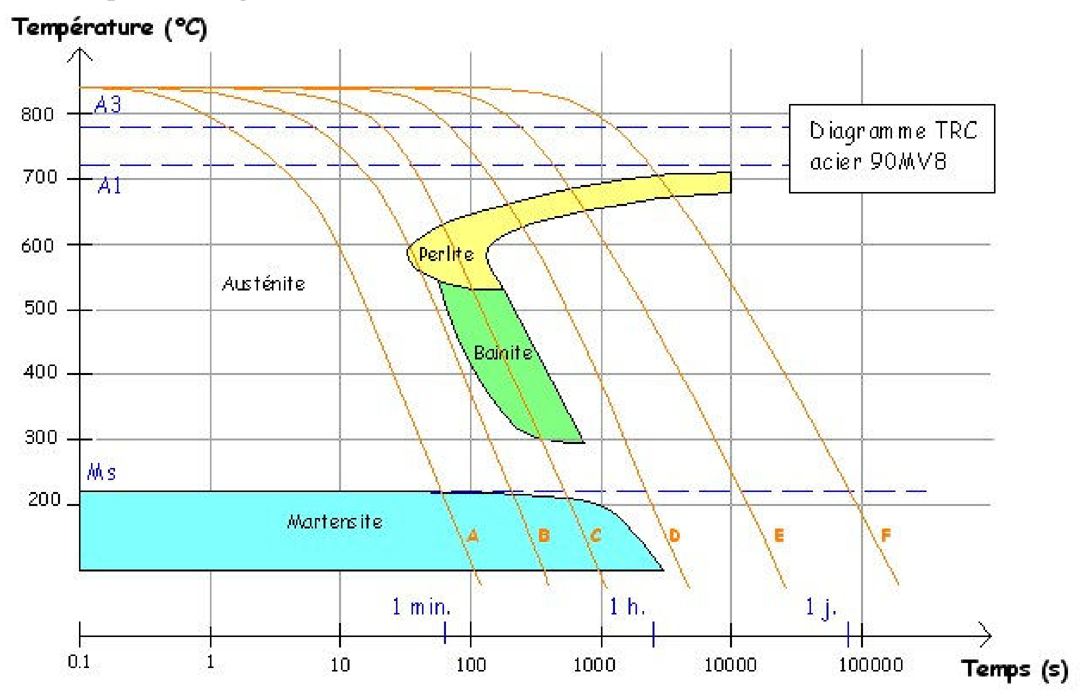
4.Diagramme TRC

Lorsque le facteur doit être pris en compte, le diagramme TRC (Transformations en Refroidissement Continu) est le plus utile ! Il est relativement représentatif des conditions de refroidissement usuelles.

Les différentes zones du diagramme TRC définissent les transformations de l'Austénite. Là encore, sur la gauche du diagramme apparaît un "nez". Il faudra que la courbe de variation de refroidissement passe à gauche de ce "nez" pour une bonne trempe.

La présence de Chrome dans l'acier décale fortement l'ensemble des zones vers la droite, laissant plus de temps pour effectuer le refroidissement (trempe à l'air).

Voici un exemple de diagramme TRC:



On y voit les différentes zones. Les courbes en orange donnent les différents refroidissements. La courbe A donne la plus grande dureté et correspond à une trempe optimisée. Les courbes suivantes de B à F fournissent un résultat final de moins en moins dur.

5.Synthèse

Il n'est pas nécessaire de connaître tous ces diagrammes pour travailler correctement un acier ! Ces diagrammes sont une aide à la compréhension des phénomènes. Ils ne sont vraiment utiles qu'aux métallurgistes.
Les fabricants d'acier fournissent la synthèse de toutes des informations en donnant pour chaque acier, les données nécessaires à son travail : Température de forge, de recuit, de trempe, milieu de trempe conseillé...
Ces informations sont donc réellement indispensables pour un travail de qualité !

De ces quelques notions de métallurgie, on peut extraire des lignes directrices quand à la méthode de travail :
> Ne jamais "brutaliser" l'acier en chauffant comme un bourrin ! Il faut laisser le temps aux transformations de se faire en douceur. On évite ainsi les défauts et déformations ultérieures.
> Ne pas chauffer trop, pour éviter le grossissement des grains.
> Bien respecter les plages de températures préconisées.
> Bien faire des paliers aux températures cruciales pour homogénéiser.

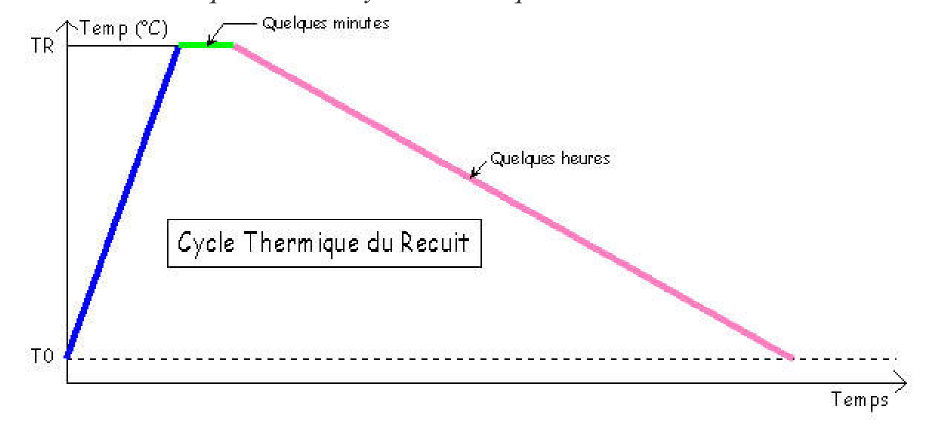
F.Traitements thermiques

Les traitements thermiques utilisés en coutellerie sont successivement :
> Le Recuit qui sert à supprimer les contraintes internes.
> Les Normalisations qui affinent le grain de l'acier.
> La Trempe qui durcit l'acier, mais le rend fragile.
>Revenu qui supprime beaucoup de la fragilité due à la trempe au détriment d'un peu de la dur

1.Recuit

Utilité
Le recuit est généralement le premier traitement thermique effectué sur une lame forgée...
Le travail de l'acier à chaud, par forgeage, entraîne la création de fortes contraintes internes, surtout dans le cas de fortes déformations. Ces contraintes ne sont pas réparties de façon homogène.
De plus, la dureté de l'acier n'est pas forcément homogène.
L'ensemble de ces facteurs limite les possibilités de travail par la suite (perçage, limage, abrasion et trempe).
Le recuit a pour objectif de détendre l'acier. A l'issue du recuit :
> Les contraintes internes seront quasi inexistantes.
> La dureté sera homogène, et habituellement faible !
Un recuit annule l'effet d'une trempe. Ainsi, avant de travailler sur un acier de récupération, la première opération à faire est un recuit !

Cycle thermique
Voilà schématiquement le cycle thermique du recuit :



<u>Et les différentes phases :</u>

(1) Chauffage
Le chauffage se fera à vitesse modérée. Certains aciers "difficiles" demanderont des paliers intermédiaires ou des vitesses de montée en température précises !
La température de recuit (TR sur le graphe) est spécifique à chaque acier. Une fourchette est généralement donnée par le fournisseur d'acier. A défaut, il sera toujours possible d'utiliser les données techniques d'un acier proche ou similaire.
En général, cette température est de l'ordre de :
> Pour les aciers hypoeutectoïdes = AC3+50°C.
> Pour les aciers hypereutectoïdes = AC1+50°C.

(2) Palier
La température de recuit sera maintenue pendant un moment. Les ouvrages théoriques donnent en général des durées genre 1 minute par millimètre de la pièce. Si la montée en température n'a pas été trop rapide, la température est relativement homogène (surtout sur une pièce de 3 ou 4 millimètres d'épaisseur) et on peut diminuer le temps de maintien en température.

(3) Refroidissement
Idéalement, le refroidissement devrait être le plus lent possible. Dans la pratique, il doit être adapté à l'acier.
Certains aciers (particulièrement ceux avec du Chrome) exigent un refroidissement très lent !
Le meilleur compromis, influant directement sur les moyens à mettre en oeuvre, découle de l'expérience acquise avec un acier.

<u>Mise en oeuvre</u>
Idéalement, la température de recuit est connue ! Un bon fournisseur d'acier donne accès à ces informations.

D'un point de vue pratique, la panacée en ce domaine est le four de trempe ! C'est un four montant assez haut en température et programmable. On y programme directement la totalité du cycle thermique en partant de la température ambiante pour y revenir à la fin du cycle ! Malheureusement, cet équipement est hors de portée de la majorité. Je n'en parlerai donc pas plus longtemps, d'autant plus que je n'en ai pas !

On chauffera donc l'acier à la température de recuit puis on le maintiendra le temps nécessaire. Cette opération pourra se faire directement à la forge. Dans une forge à charbon, on bougera la lame dans le feu pour une chauffe complète et homogène.

Pour le refroidissement, plusieurs possibilités :
> Feu de forge mourant : Il procure un refroidissement lent, mais mal contrôlé. Un courant d'air ou le vent peut suffire pour ranimer les braises et réchauffer un peu la lame.
> Vermiculite : Matériau isolant vendu dans les magasins de bricolage. C'est facile à utiliser. La vermiculite peut être utilisée froide ou préchauffée pour un refroidissement plus lent. Le préchauffage se fait en y plongeant une grosse barre métallique chauffée au rouge à la forge. Retirer la lame du foyer avec des tenailles et la plonger rapidement et complètement dans la vermiculite. C'est la méthode que j'utilise (simple, efficace).
> Sable : Même utilisation que la vermiculite, mais un peu moins efficace. Le refroidissement sera plus rapide.
> Cendre de bois : Même utilisation que la vermiculite, mais pas très pratique. Les cendres sont légères et se dispersent facilement.

Notes

> La littérature spécialisée décrit de nombreux types de recuit. La plupart d'entre eux sont utilisés en industrie. En coutellerie, le terme "recuit" désigne en général le recuit d'adoucissement, de détente, total ou complet.

> Le recuit a une tendance à faire grossir un peu le grain de l'acier, même s'il est convenablement fait.

En cas de surchauffe, le grain grossit de façon notoire à cause de la lenteur du refroidissement.

> Cette tendance à faire grossir le grain de l'acier impose une normalisation avant la trempe.

2.Normalisation

Utilité

Lors du travail à chaud de la lame, les montées en température risquent de faire grossir le grain de l'acier. De même, une lame travaillée par enlèvement de matière devra subir ce traitement, car on ignore tout de la structure du métal à l'achat : Le grain peut être plus ou moins gros.

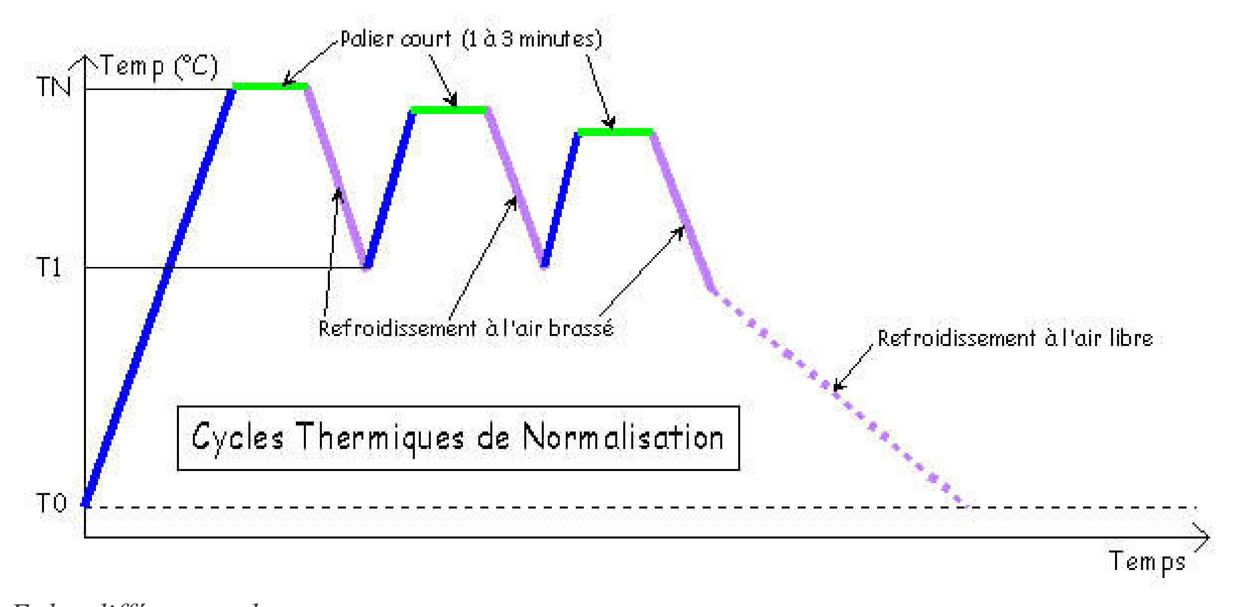
Voir le phénomène en détail sur la page consacrée au grain de l'acier .

La normalisation est donc un traitement thermique destiné à affiner le grain. De plus, une normalisation correctement conduite permet d'éviter presque à coup sûr les déformations à la trempe.

Tous les aciers ne tirent pas un bénéfice similaire de la normalisation. C'est le cas des aciers inox. La présence importante de chrome modifie fortement les données !

Cycle thermique

Voilà schématiquement le cycle thermique de normalisation :



Et les différentes phases :

(1) Chauffage

Le chauffage se fera à vitesse modérée.

La température de normalisation (TN sur le graphe) est spécifique à chaque acier. A défaut de données précise, on partira de la même température que pour le recuit.

(2) Palier

La température de normalisation sera maintenue pendant un court moment, aux alentours d'une minute et un peu plus pour les pièces massives.

(3) Refroidissement

Le refroidissement devra être suffisamment rapide pour éviter le grossissement du grain. A l'inverse, il ne doit pas être trop rapide et créer de la Bainite ou de la Martensite.

Le schéma ci-dessus fait apparaître trois cycles successifs. Pour démarrer un nouveau cycle, on laissera diminuer la température jusque vers 450-500°C.
Chaque cycle se fera de préférence avec une température légèrement inférieure au cycle précédent ! Si la lame se déforme à l'issue d'un cycle, il faut redresser la lame et recommencer le processus au départ.
Sinon, le redressement de la lame ne suffira pas à éviter les déformations à la trempe.

<u>*Mise en oeuvre*</u>
De même que pour le recuit, un four de trempe peut être très utile pour la chauffe et le palier. Mais pour le refroidissement, la baisse de température ne sera pas assez rapide.
On chauffera donc l'acier à la température de normalisation puis on le maintiendra le temps nécessaire (environ une minute). Cette opération pourra se faire directement à la forge. Dans une forge à charbon, on bougera la lame dans le feu pour une chauffe complète et homogène.
Il faut ensuite sortir la lame de la forge avec des tenailles pour le refroidissement. Plusieurs possibilités :
> Laisser tranquillement la lame refroidir à l'air libre. Je trouve ce refroidissement un peu lent.
> Mettre la lame devant un (gros) ventilateur.
> Balancer la lame par un ample mouvement du bras. C'est ce que je fais habituellement.
La lame va rapidement refroidir en passant du rouge-orange au rouge sombre, puis au noir. C'est à ce moment qu'on vérifiera la rectitude :
> Si la lame est tordue, il faut la chauffer à température de forge et la redresser. On devra recommencer les trois cycles complets de normalisation !
> Si la lame n'a pas bougé, on passera au cycle suivant.
Pour le cycle suivant, il faudra essayer de monter un peu moins haut en température.

<u>*Notes*</u>
> On fait en général trois cycles. Ce nombre ne doit rien au hasard. Les essais et les analyses ont montré que le premier cycle était très efficace. Chaque cycle successif est un peu moins efficace que le précédent ! Le quatrième n'a pratiquement plus d'effet perceptible ! On s'arrête donc à trois cycles !
> La normalisation permet de s'assurer une bonne finesse de grain. C'est un traitement thermique fortement conseillé
> Il est tout a fait possible d'obtenir un grain fin sans normalisation. Il faut avoir une méthode de travail très rigoureuse au niveau des températures. Bien souvent, les forgerons qui ne font pas de normalisations finissent leur ouvrage en "blanchissant" la lame. Cette opération consiste à travailler dans la plage inférieure des températures de forgeage (et en dessous) en martelant doucement la lame avec un marteau et une enclume abondamment mouillés ! Cette opération fait sauter la calamine, améliore l'état de surface de la lame. En terme de traitement thermique (i.e. température et temps), elle présente une forte similitude avec la normalisation !

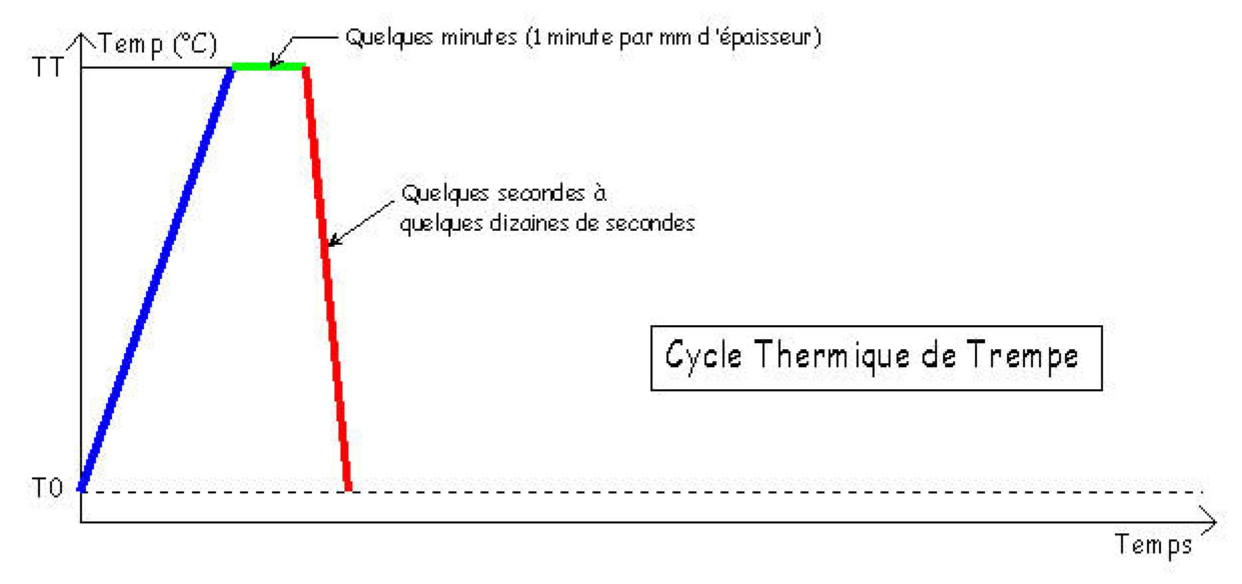
3.Trempe

<u>*Utilité*</u>
La trempe est LE traitement thermique le plus connu. Le refroidissement rapide de l'acier permet de créer une structure très dure nommée Martensite.
L'acier trempé est beaucoup plus dur que l'acier recuit, mais aussi plus fragile.
La façon de tremper (température, vitesse de refroidissement) dépend de la composition de l'acier et est très variable de l'un à l'autre.

La trempe consiste à chauffer délicatement, la pièce au dessus de la température d'auténisation

(pour "dissoudre" le carbone et former de l'austénite). On fige cet état en refroidissant brutalement l'acier. Une grosse partie de l'austénite se transforme alors en martensite. L'austénite non transformée est appelée austénite résiduelle.
La plage de température idéale est préconisée par le fabricant de l'acier. La "trempabilité" peut être fortement modifiée par les éléments d'alliage. La trempe crée de la martensite, rendant l'acier très dur.
Attention, l'acier est alors cassant et nécessite un revenu.
Le milieu de trempe doit être adapté à l'acier.

<u>Cycle thermique</u>
Voilà schématiquement le cycle thermique de trempe :



<u>Et les différentes phases :</u>

(1) Chauffage
Le chauffage se fera à vitesse modérée.
La température de Trempe (TT sur le graphe) est spécifique à chaque acier. Elle doit être fournie par le fabricant.

(2) Palier
La température de trempe sera maintenue pendant un court moment, aux alentours d'une minute et un peu plus pour les pièces massives. Le critère majeur est d'avoir une température homogène. Pour les aciers hypereutectoïdes, les carbures ne seront pas forcément dissous, mais cela ne nuit pas à la qualité du résultat. Les carbures non-dissous (logés dans les joints de grain) pourraient même éviter temporairement le grossissement du grain (informations à vérifier).
Pour les aciers alliés, il convient de se reporter à la fiche descriptive du fournisseur pour connaître les températures appropriées.

(3) Refroidissement
Le refroidissement devra être rapide et adapté à l'acier ! Si le refroidissement est un peu trop lent, on créera de la Bainite. Si le refroidissement est trop lent, l'acier repassera sous forme Ferrite / Perlite / Cémentite.
La vitesse de refroidissement est rarement fournie, les fabricants spécifie plutôt le milieu de trempe conseillé (ce qui est en général suffisant).

<u>Mise en oeuvre</u>
Là encore, un four de trempe peut être très utile (mais pas indispensable pour la chauffe et le palier.

On chauffera donc l'acier à la température de trempe, puis on le maintiendra le temps nécessaire (environ une à deux minutes). Cette opération pourra se faire directement à la forge. Dans une forge à charbon, on bougera la lame dans le feu pour une chauffe complète et homogène.
On utilisera pour cela du charbon de bois de petit calibre (maximum 10x20) afin d'avoir une chaleur la plus homogène possible.
Ne pas mettre la pièce directement dans un feu violent. Il faut, au contraire, ne pas la brutaliser. La poser à coté du feu puis la faire monter progressivement vers 600°C puis un peu plus rapidement à la bonne température. On commencera avec le tranchant en l'air et on chauffera d'abord la zone du ricasso.
La perte de magnétisme de la lame est en général un bon indicateur pour la température de trempe. En pratique, on peut attacher un aimant au bout d'une corde. S'il ne dévie plus du tout à l'approche de la lame, la température est correcte.
Il existe également des stylos avec une encre spéciale qui se liquéfie à une température précise.

Dès que la lame est à la bonne température, la sortir de la forge avec des tenailles pour la trempe. On procédera rapidement, mais sans précipitation. Plonger la lame tranchant en premier dans le bain de trempe. Faire des mouvements longitudinaux jusqu'à refroidissement total.
Pour les trempes à l'air, on pourra mettre la lame dans le flux d'air d'un gros ventilateur.
Voir également la page consacrée aux milieux de trempe .

Il faudra ensuite faire le revenu ***dès que possible****.*

Notion de trempabilité

Lors de la trempe, le refroidissement se fait par l'extérieur de la pièce. En fonction de la composition de l'acier, ce refroidissement se propagera plus ou moins facilement et donc plus ou moins profondément !
La trempabilité de l'acier est son aptitude à propager la trempe de la surface externe vers le cœur de la pièce.
Un acier avec une faible trempabilité ne prendra que superficiellement la trempe. Un acier avec une trempabilité élevée pourra être trempé en profondeur.
La trempabilité des aciers est améliorée par les éléments d'alliage, principalement le Chrome et le Nickel.

Notes
> Les risques majeurs lors de la trempe sont les fissures et les déformations. Un acier se fissure si sa forme présente des points faibles (angles vifs = amorce de rupture) ou si le milieu de trempe est inadéquat (trop dur). Dans ce cas, la pièce est bonne pour la poubelle. Les déformations sont généralement consécutives à un forgeage asymétrique ou un recuit insuffisant. Certaines déformations sont rattrapables, mais il existe toujours un risque de casse
> Toujours vérifier la trempe en passant un coup de lime sur les parties trempées. La lime doit glisser sans accrocher en produisant un son cristallin.
> A l'issue de la trempe, la lame est très dure, mais aussi très fragile. Une chute ou une manipulation brutale peut casser la lame !

Milieux de trempe
En coutellerie, plusieurs milieux peuvent être utilisés pour la trempe des lames. Le choix dépend essentiellement de l'acier utilisé. Le fournisseur d'acier doit normalement indiquer le milieu de trempe à utiliser.

Eau

L'eau est le plus simple des milieux de trempe. L'eau devra être préalablement chauffé aux environs de 50°C. On utilisera de grosses barres métalliques chauffées dans la forge puis immergées dans le bac d'eau.



La trempe à l'eau est dure et convient aux aciers faiblement carburés (0.5 à 0.6 % de Carbone). Des aciers plus carburés peuvent (avec certaines précautions) être également trempés à l'eau, mais l'intérêt est relativement faible.
Il est possible de modifier le comportement de l'eau par des additifs. Le Sel rend la trempe plus dure.
Il modifie la température d'ébullition et la viscosité du milieu. Le Savon rend la trempe plus douce.
Je n'ai malheureusement pas d'information pour le dosage de ces additifs...

Huile

L'huile est un des milieux de trempe les plus utilisés. On utilisera les huiles d'origine végétales de préférence aux minérales. Il ne faut absolument pas utiliser l'huile de vidange (risque de toxicité) !
Il existe des huiles spéciales pour la trempe, mais elles sont chères.
Prévoir un bac de trempe avec un couvercle, car bien souvent l'huile s'enflamme lors de la trempe. Le couvercle permet d'étouffer ce feu. L'huile sera utilisée tiède, principalement pour augmenter sa fluidité. On la chauffera facilement en y plongeant de grosses barres métalliques préalablement chauffées dans la forge. La température sera portée à environ 50°C.

Air

Certains aciers se trempent à l'air. On les appelle souvent "auto-trempant". Il suffit de les chauffer à la bonne température puis de les laisser refroidir. On durcira un peu la trempe en utilisant de l'air ventilé. On placera la lame tranchant en avant dans un flux d'air généré par un gros ventilateur. On peut plus simplement balancer la lame tenue au bout d'une tenaille.

Goop

Le Goop est un mélange de 75% de végétaline et de 25% de paraffine. Il s'utilise solide ! On chauffe la lame à la bonne température et on la plonge doucement dans le Goop solide, qui se met immédiatement à fondre autour de la lame.



Son effet est quasiment identique à celui de l'huile. Cependant, pas besoin de le chauffer avant utilisation. C'est la chaleur absorbée par la transformation solide-liquide qui est la clé de son efficacité ! Fondu, il se comporte comme de l'huile.
A température ambiante, il se transporte facilement vu son état solide. Lors des trempes, il ne s'enflamme pas (à vérifier cependant en fonction de la qualité de la paraffine utilisée).

Echelle
Les milieux de trempe sont plus ou moins durs. En utilisant un milieu trop dur, on induit de très fortes tensions internes et on risque des cassures ou l'éclatement de la pièce. En utilisant un milieu trop doux, on ne "saisit" pas assez l'acier, la Martensite ne se crée pas bien et la trempe risque de ne pas "prendre"...
Voici le classement du plus dur au plus doux :

- *Eau durcie (sel)*
- *Eau*
- *Eau adoucie (savon)*
- *Huile ou Goop*
- *Air brassé*
- *Air*

4.La trempe sélective à l'argile
Voici les opérations à suivre pour la réalisation d'une trempe sélective à l'argile.
Je présente une méthode et pas la méthode. Il existe sans doute bien d'autres façons de faire.
Je n'aborderai ici que les trempes à l'huile ou au goop. Elles sont moins difficiles que celle faites à l'eau. En outre, les risques de casse ou de fissure sont moindres. L'acier ciblé par cette technique est du type non ou faiblement allié.

Utilité
La trempe sélective est une technique intéressante. Elle permet de donner à une lame des qualités :
- Mécaniques. Le tranchant, trempé, donne une bonne coupe. Le dos de la lame, non trempé reste souple.
-Esthétiques. La révélation montre la ligne de trempe (limite entre la partie trempée et la partie non trempée).

Principe
La lame est partiellement revêtue d'une gangue à base d'argile. Cette enveloppe est chauffée en même temps que la lame. Lors de la trempe, l'enduit restitue la chaleur accumulée lors de la chauffe. La vitesse de refroidissement de l'acier au voisinage de la gangue est fortement réduite et la trempe ne prend pas ! La partie laissée nue est trempée.

Préparation de la lame :
A l'issue du forgeage et des recuits, faire une émouture grossière. Il ne faut pas aller à un niveau de finition trop avancé ! Les irrégularités de surface aident l'enduit à tenir. Si besoin, finir avec un papier abrasif à grain moyen (genre 120 ou 180).



Nettoyer la lame avec du produit vaisselle. Bien la rincer. Puis sous un filet d'eau ou dans un petit bac, la frotter vigoureusement avec un morceau de charbon de bois, avant de la rincer soigneusement. Ne pas l'essuyer, l'égoutter suffit amplement.
A ce stade, la lame ne doit plus être touchée !



<u>Enduit</u>
On parle un peu abusivement de trempe à l'argile, puisqu'en réalité, l'argile n'est qu'un des composants de l'enduit utilisé.
Cette enduit sera composé comme suit :
- Argile (1 volume)
- Charbon de bois (1 volume)
- Silice ou sable non calcaire (1 volume)
L'argile (bien sèche) et le charbon de bois devront être broyés finement à l'aide d'un mortier et d'un pilon. Ils seront ensuite tamisés très fin. Le sable (ou la silice) sera aussi tamisé.
Ces composants peuvent être préparés à l'avance puis stockés dans des boîtes hermétiques.



L'enduit sera préparé sur une plaque en verre ou une tôle en y déposant les ingrédients bien dosés.



Mélanger avec une spatule jusqu'à homogénéité.

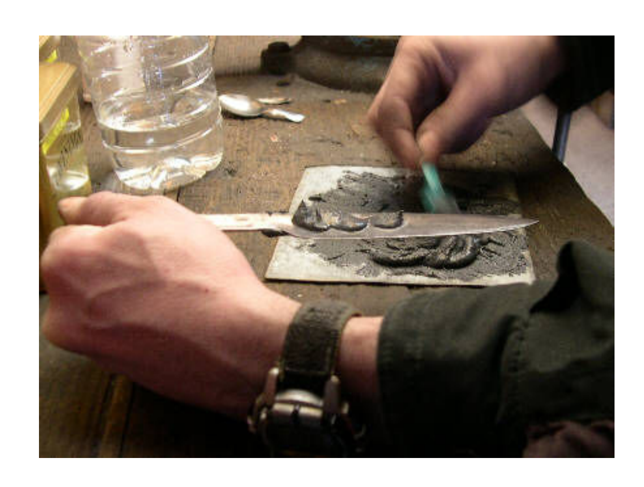


Puis, humidifier avec un peu d'eau et mélanger. La consistance recherchée sera celle de la crème fraîche.



Les proportions données ci-dessus sont la base. Elles pourront varier en fonction des matériaux eux-mêmes et de leurs propriétés. Si l'enduit se fissure ou éclate à la trempe, il faut généralement diminuer la dose d'argile.
En fonction des recettes, on notera parfois la présence de limaille de fer.

Pose de l'enduit



La pose de l'enduit se fera grâce à une spatule. On pourra utiliser un couteau de peintre (artiste pas bâtiment) ou tout autre objet du moment qu'il est fin et souple. On posera l'enduit d'un coté de la lame, par petites touches successives en partant de la future ligne de trempe puis en remontant vers le dos de la lame. On essaiera d'avoir une épaisseur à peu près constante.
Si l'enduit est difficile à déposer et à mettre en forme, il est probablement trop sec. S'il s'affaisse, il est trop liquide. On retournera la lame pour travailler le second coté. Si l'enduit

tombe ou coule, il était trop liquide. On procédera de la même façon pour l'autre coté de la lame.
Pour finir, on ajoutera de l'enduit sur le dos de la lame pour rejoindre et sceller les deux cotés.
L'épaisseur d'enduit devra être d'environ 3 à 4 mm. Dans le doute, mieux vaut prévoir un peu trop. L'excédent pourra être enlevé ultérieurement.
Si on a un peu débordé au niveau de la ligne de trempe, on peut tenter de rectifier à ce stade ou plus facilement quand l'enduit sera sec.
Attention, la partie découverte (i.e. celle qui sera trempée) ne doit pas remonter trop haut. Un tiers de la lame est un maximum. Dans le cas contraire, la lame pourrait se briser sous les contraintes internes consécutives à la trempe.

Séchage de l'enduit



Le séchage de l'enduit peut se faire directement à la forge. C'est plus rapide que d'attendre le séchage naturel.
Pour cela, on utilisera un feu pas trop fort. On promènera la lame doucement au dessus du foyer. Ne pas précipiter le choses car l'enduit pourrait se fendre. Au début, il ne se passe pas grand chose, puis on verra de la vapeur d'eau se dégager de l'enduit.

Progressivement des zones sèches vont apparaître.



Continuer une chauffe douce jusque séchage complet. Prolonger de quelques minutes pour sécher à cœur.
Cette opération complète prend environ 15 minutes.



<u>Lissage de l'enduit</u>

Pour éviter des déformations éventuelles de la lame à la trempe, il est souhaitable de régulariser la gangue d'enduit. On utilisera une vieille lime. On lissera les deux faces, en veillant à conserver la même épaisseur d'enduit de chaque coté de la lame. Le dos sera également régularisé.

Cette opération est délicate. Il faut y aller tout doucement en appuyant à peine sur la lime !

Il faut laisser une épaisseur d'environ 3 millimètres. S'il y a des trous ou des manques, on peut tenter un rebouchage suivi d'un séchage. Mais c'est loin d'être idéal ! Mieux vaut avoir un peu de marge en ne prévoyant pas trop juste dès le départ.



A ce stade, on peut rectifier le profil du tranchant en grattant avec un petit stylet de bois ou un tournevis manié délicatement les excédents d'enduit



<u>Cuisson de l'enduit</u>

Comme une poterie, cet enduit doit être cuit. Dans un feu moyen, on chauffera la lame en la posant sur le dos, bien enfouie dans le charbon de bois. Le tranchant peut dépasser un peu sur le dessus. Faire bien attention à la pointe de lame qu'il ne faut pas surchauffer.



Quand l'enduit sera rouge (au moins sur le dos de la lame), on pourra tourner la lame à plat pour bien cuire alternativement les deux cotés. Ne pas sortir la lame du feu et passer directement à la..

<u>Trempe de la lame</u>

Dès que l'enduit est cuit, placer la lame tranchant vers le bas. Chauffer doucement jusqu'à la température de trempe. Bouger longitudinalement la lame pour avoir une température homogène. Attention là aussi à ne pas surchauffer la pointe. Quand la bonne température est atteinte, couper la ventilation de la forge, laisser un peu la lame dans les braises en la bougeant un peu pour homogénéiser la température.
Sortir la lame et tremper rapidement à l'huile (tiède) ou au goop.



Idéalement, l'enduit reste en place. S'il éclate, ce n'est pas synonyme d'échec. Il faudra toutefois
vérifier prudemment avec un polissage rapide et une révélation (sans oublier de tester le tranchant à la lime).

<u>Finitions</u>

Faire sauter la gangue d'argile. Nettoyer la lame. Puis, faire le revenu.



On fera le polissage se fera de façon classique (backstand ou huile de coude). A ce stade, on ne voit rien de spécial !



<u>Révélation</u>

Au final, on révélera la ligne de trempe en répétant 3 ou 4 fois (jusqu'à un rendu visuel correct) les opérations suivantes :
- Immersion une minute dans du perchlorure de fer.
- Rinçage rapide à l'eau.
- Nettoyage des résidus d'oxydation à la paille de fer (ou avec un abrasif très fin, grain 1000 ou plus).

Le perchlorure s'achète dans les magasins d'électronique (pour la bidouille). Il est normalement utilisé pour la gravure des circuits imprimés.

Et impérativement pour finir : Nettoyer consciencieusement la lame avec de la paille de fer et du liquide vaisselle ! Ce produit, fortement basique, neutralise l'attaque résiduelle du métal par le perchlo.

Et voilà :
La lame avant son montage.

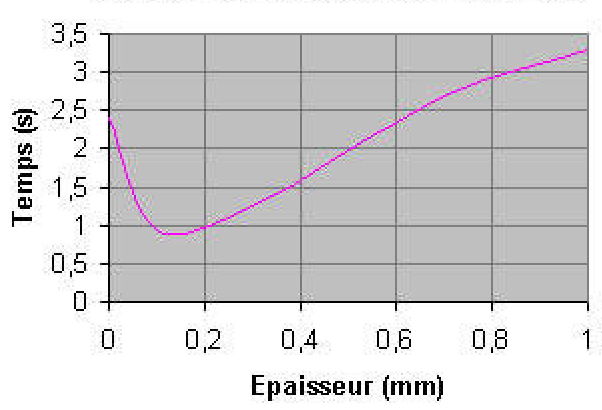


Et le couteau fini.

Sans rentrer dans les détails, l'acier trempé est plus volumineux que l'acier non-trempé (Ils n'ont pas la même structure cristalline). La trempe sélective a donc naturellement tendance à modifier la forme des lames. Le tranchant se dilatant, la lame à tendance à se courber (i.e. la pointe "remonte").
C'est pour cette raison que les katanas et tantos sont forgés droits et finissent courbes !
NB : Cette déformation est d'autant plus prononcée que le ratio (partie trempée / partie non trempée) est important. Si le tranchant est trop découvert, la lame peut se briser ! On évitera donc de découvrir plus d'un tiers de la hauteur de la lame.
De l'argile sur le tranchant
Une des variantes possibles pour les trempes sélectives est de recouvrir la totalité du tranchant d'une fine couche d'argile. Une couche épaisse d'argile emmagasine la chaleur et empêche la trempe. Une fine couche d'argile (de 1 à 2 dixièmes de millimètre) améliore la trempe en accélérant le transfert de chaleur.

En effet, une fine couche limite la formation du film de vapeur consécutif à l'immersion de la lame dans le bain de trempe. Elle ne stocke pratiquement pas de chaleur. Coté pratique, faire un mélange un peu liquide, tremper la lame dans ce mélange puis la secouer légèrement. On peut également appliquer cette fine couche au pinceau.





La courbe ci-contre est une synthèse des données relatives à la trempe à l'eau des sabres japonais. Elle montre l'influence de l'épaisseur de la couche d'argile sur le temps de refroidissement d'un acier chauffé à 800°C jusque 100°C. On voit qu'une fine couche d'argile fait passer ce temps d'un peu plus de 2 secondes à moins d'une seconde !

5.Revenu

Utilité

A l'issue de la trempe, la lame est très dure mais également très fragile. Elle casse facilement si on la laisse tomber au sol ! Le revenu consiste à chauffer légèrement la pièce. Pour les couteaux, la plage de température va généralement de 180°C à 240°C, mais là encore, il faut se référer aux recommandations du fabricant de l'acier. Le revenu donne :

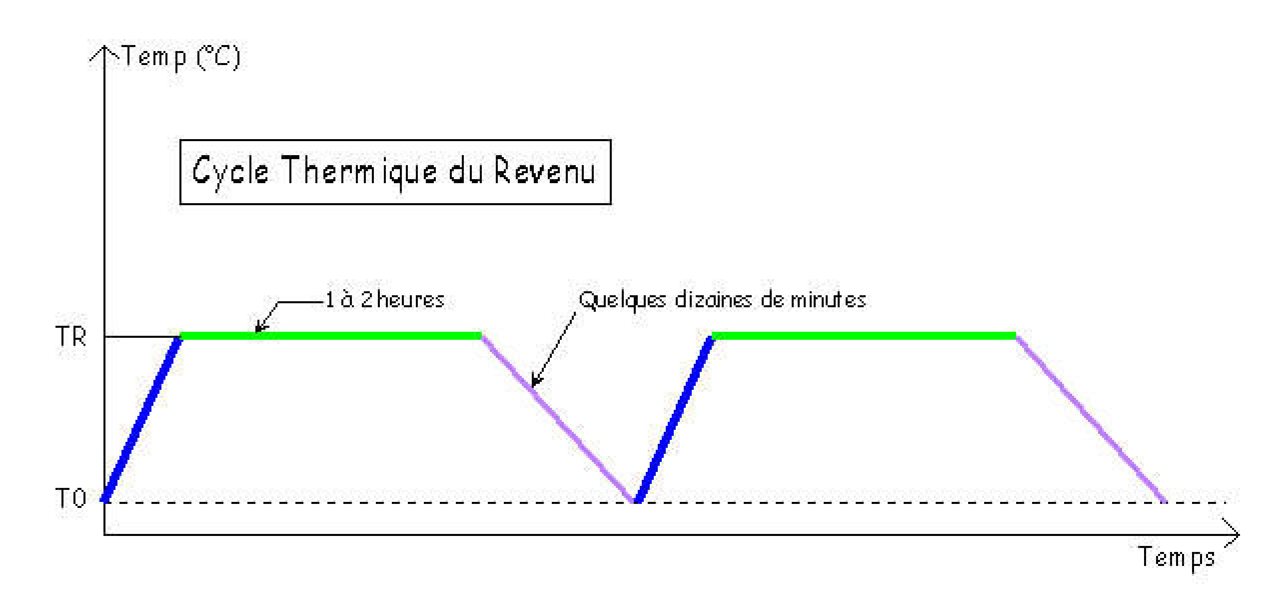
> Une légère perte de dureté (i.e. quelques points HRC)

> Un gros gain de résilience et de souplesse.

Ces effets sont habituellement d'autant plus prononcé que la température du revenu est élevée.

Cycle thermique

Voilà schématiquement le cycle thermique du revenu :



<u>Et les différentes phases :</u>

(1) Chauffage
Le chauffage se fera à vitesse modérée. La vitesse n'a pas d'impact sur les résultats.
La température de revenu (TR sur le graphe) est spécifique à chaque acier et est choisie en fonction de la dureté finale souhaitée. Une fourchette est généralement donnée par le fournisseur d'acier. A défaut, il sera toujours possible d'utiliser les données techniques d'un acier proche ou similaire.
En général, ces températures sont de l'ordre de 200°C à 250°C.

(2) Palier
La température de revenu sera maintenue pendant un long moment, avec un minimum de une heure.

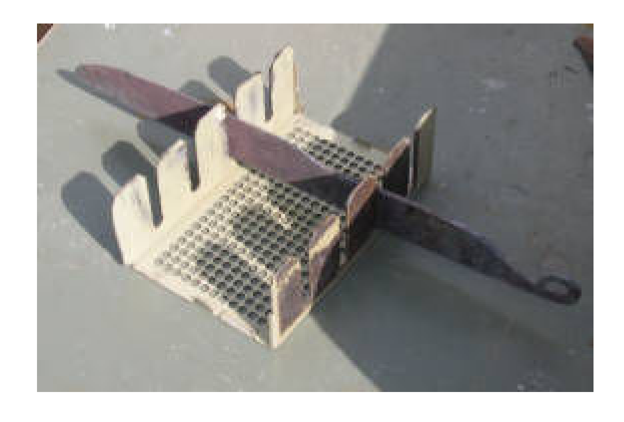
(3) Refroidissement
Le refroidissement n'est pas un facteur critique. Il faut toutefois revenir à température ambiante avant de faire le second cycle.
Le premier revenu a pour effet de transformer une (petite) partie de l'austénite résiduelle en martensite.
Cette transformation se fait lors de la descente en température. La martensite ainsi créée est non-revenue. Ceci explique pourquoi il faut faire deux revenus successifs identiques.

<u>Mise en oeuvre</u>
Ce traitement thermique est le plus simple à réaliser puisqu'un simple four domestique suffit. Il doit posséder un thermostat et une minuterie est utile. Le thermostat devra être étalonné à l'aide d'un thermomètre.

A défaut d'un étalonnage du four, on pourra estimer la température atteinte par la couleur de l'acier à la sortie du four. Attention aux aciers spéciaux qui réagissent différemment...

Régler le thermostat sur la température souhaitée. Placer la lame dans le four chaud. Régler la minuterie sur le temps nécessaire. On laissera la lame refroidir tranquillement dans le four...
Pour le deuxième revenu, il n'est pas nécessaire de sortir la lame du four pendant le chauffage.

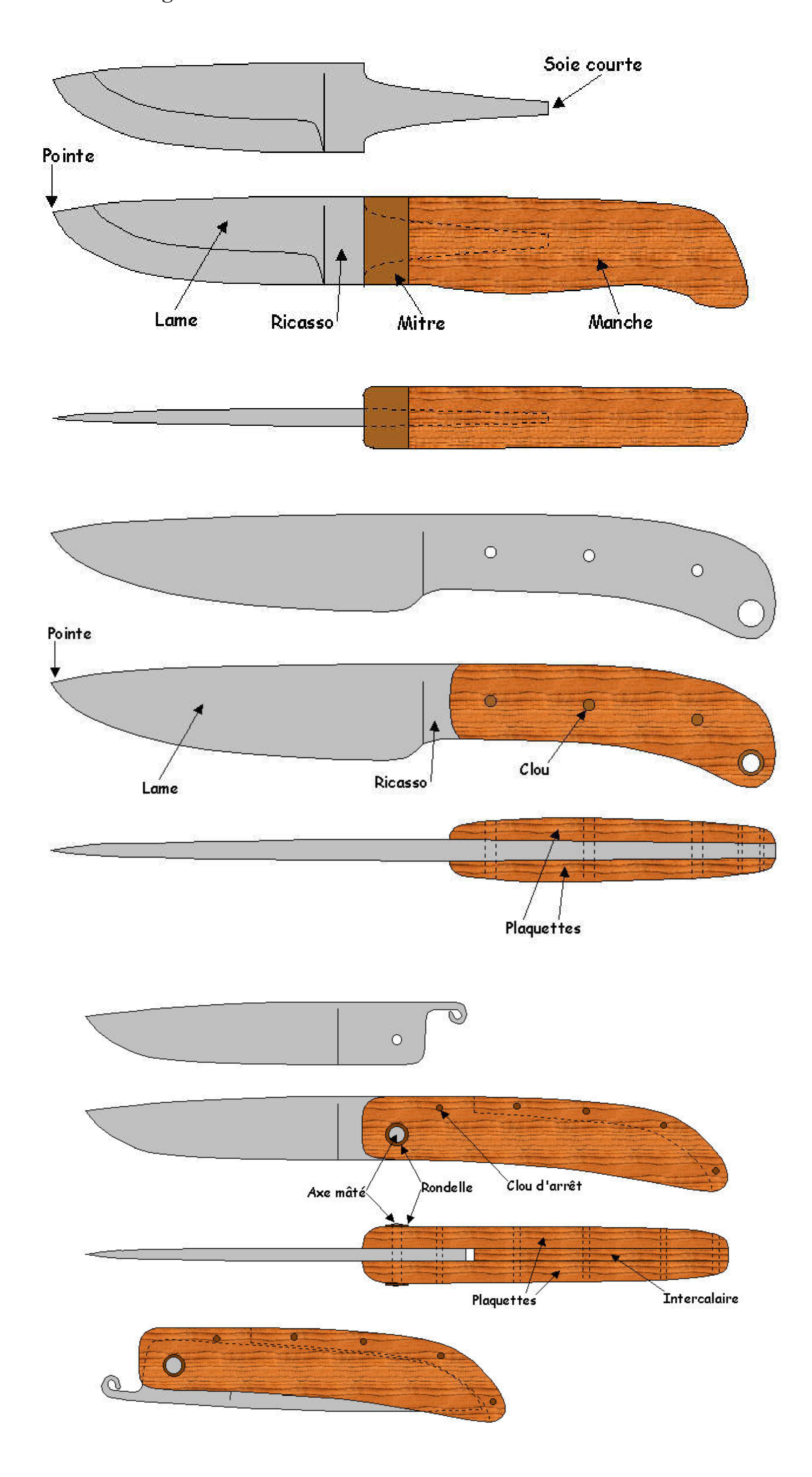
Pour maintenir les lames dans le four on pourra utiliser un support. Ci-contre, un râtelier fabriqué dans une fine tôle (alimentation de PC !) et à l'aide d'une meuleuse d'angle. Il permet de maintenir les lames verticales et stables pendant le revenu au four.



Et maintenant, la lame est prête pour la finition !

<u>Notes</u>
> On pourra utiliser la forge pour faire directement un revenu, mais je trouve cette méthode moins fiable en terme d'efficacité et de commodité.
> On peut faire le revenu avec un chalumeau ou un brûleur. Même remarques que ci-dessus !

G-Différents Montages de Lames



H-Annexes Utiles

1.Fabrication d'une cale à poncer

N'ayant pas de Backstand, je fais les émoutures et la finition de mes lames à l'huile de coude. Je commence à la lime bastarde, puis à la lime fine, pour continuer et achever au papier abrasif. J'utilise du papier de carrossier (grain 120, 240, 400, 600 et 1000 successivement). Pour assurer une bonne planéité ou faire des surfaces convexes régulières, on ne peut pas utiliser le papier sans support. Il faut une cale à poncer. Les modèles du commerce étant décevants, voici un petit bricolage qui rendra bien des services... Intérêt

Par rapport au ponçage à la main, l'utilisation d'une cale procure de nombreux avantages :

- Le papier abrasif est maintenu.

- La main est loin de la lame. Ainsi, on évite de se couper accidentellement.

- On peut faire de longs mouvements et augmenter ainsi l'efficacité du ponçage.

- Le papier a un support plan et rigide, on peut ainsi dresser facilement la lame. On évite de former des trous. L'aspect et la qualité finale s'en ressent !

Réalisation

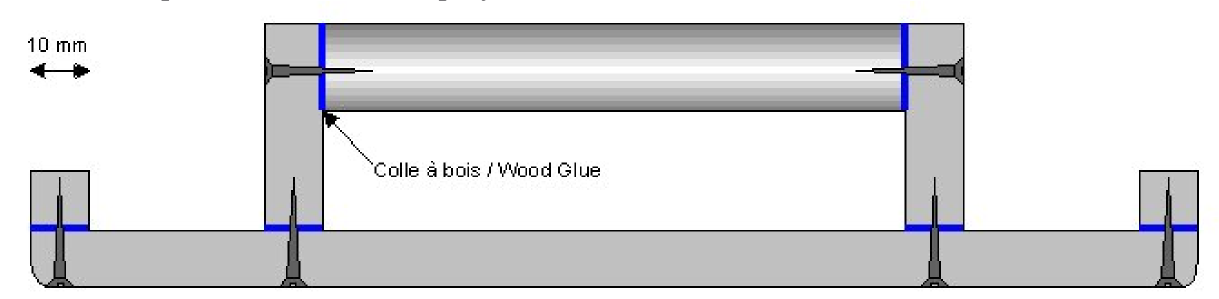
Il faut peu de matériel :

Une planchette de 10x30 de section, un rond de bois de diamètre 15 ou 20, quelques vis à bois de 3x20, de la colle à bois forte, 2 pinces à dessin (largeur 30, écartement >10), du papier abrasif pour la finition, du vernis à bois.

Voir ci-contre les pinces à dessin....



Voici un croquis de la câle vue de profil :



Il faut veiller à arrondir les extrémités pour ne pas déchirer le papier.

Avec une surface utile de 200x30, c'est idéal pour des bandes d'abrasifs de 30x297. J'en découpe 7 au cutter dans une feuille d'abrasif A4. L'excédent de longueur sert à la fixation aux extrémités grâce aux pinces à dessin.

Et voilà la câle avec une bande de papier :



2.Matage d'une axe de pliant

Lors de la fabrication de couteau pliant de style "Piémontais", une des difficultés majeures reste le matage de l'axe.

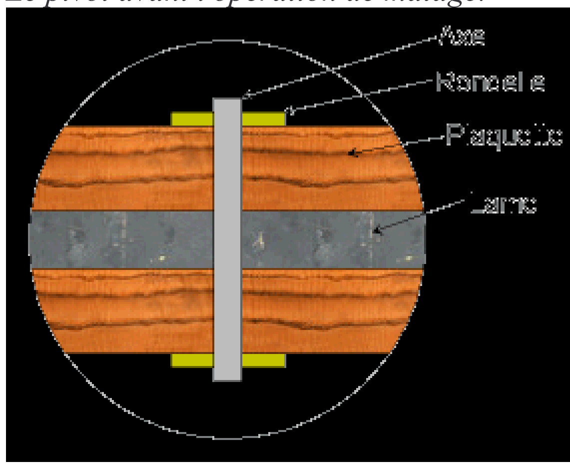
Le problème le plus souvent rencontré est la lame bloquée ! ! !

Voici comment je procède...

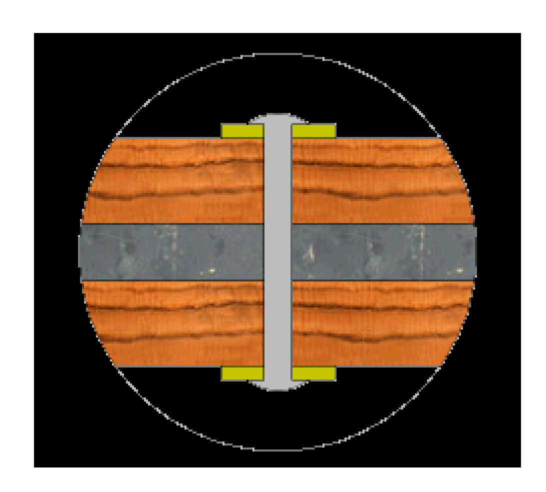
Principe

Quelques croquis suffisent à comprendre le principe.

Le pivot avant l'opération de matage.



Le pivot après l'opération de matage.



Une tige en fer doux est utilisé comme axe. On protège le bois par deux rondelles en laiton (ou en acier).

Lors du matage au marteau-boule, le fer de l'axe sera écrasé sur ces rondelles.

Equipement et matériaux

Il faut peu de choses faciles à trouver :

> Marteau-boule léger que l'on pourra bricoler un avec une disqueuse en partant d'un petit marteau

> Axe en fer. J'utilise généralement un diamètre de 3 mm. De nombreuses "sources" sont uilisables :

Baguettes pour soudure à l'arc, clous...

> Rondelles en laiton, diamètre intérieur 3.2 mm.

Un petit marteau-boule bricolé à partir d'un marteau de récupération.

Le canif en pièces détachées.



Réalisation

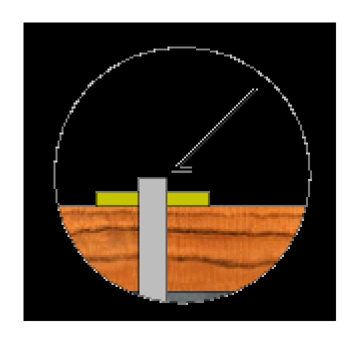
Préparer l'axe le nettoyer puis le couper. Il faut le laisser dépasser de chaque coté d'une longueur égale à la moitié du diamètre, dans notre cas 1.5 mm de chaque coté.

Pour éviter que l'axe et la rondelle du dessous ne tombent, je les fixe par le dessous avec un morceau d'adhésif (voir ci-contre). Sinon, en général, l'axe ne bouge pas, mais la rondelle glisse en permanence.



Prendre appui sur une surface dure (étau, enclume...)
Commencer à mater l'axe en tapotant en diagonale avec le marteau-boule sur le pourtour de l'axe.
Il faut bien contrôler le mouvement du marteau pour taper à 45° comme sur le croquis ci-dessous.

Angle de frappe...



La même en live.



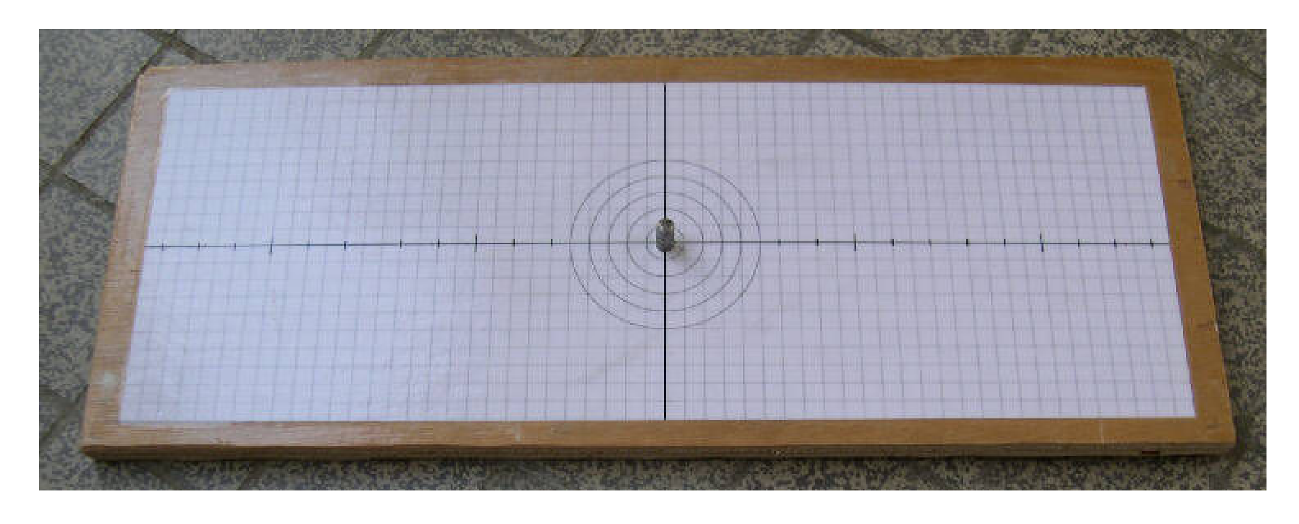
Il faut plutôt tapoter des petits coups secs que frapper !

NB : Ne pas taper en bout. C'est ainsi que la lame se retrouve bloquée !
Une fois la première extrémité formée (comme une tête de champignon), retourner le couteau.
Enlever l'adhésif et mater la seconde extrémité de l'axe.
Travailler alternativement les deux extrémités afin d'obtenir une bonne symétrie et de resserrer progressivement le montage...
Si la lame est trop libre dans le manche, taper délicatement au bout de l'axe. Attention, l'effet produit est rapide et pas de marche arrière possible !

Résultat
Voilà le rivet maté vu de près :

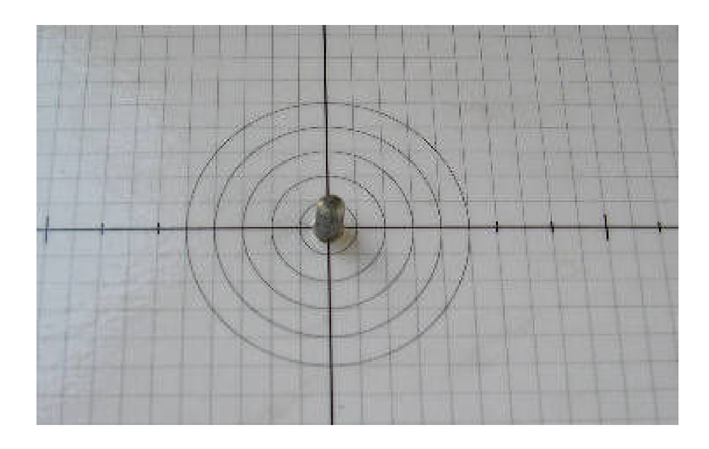


3.Fabrication d'un bidule à pliant
Les mécanismes de couteaux pliants (même simples comme les Piémontais) ne sont pas toujours facile à visualiser et encore moins à concevoir. Voici un petit gadget bien utile. Il permet de dessiner la lame et le manche d'un couteau pliant et de faire pivoter la lame sur un axe afin de bien visualiser les positions fermée et ouverte. Réalisation
Tout d'abord, voilà à quoi ressemble cet engin :



Ce gadget est constitué des éléments suivants :
- Une planchette de contre-plaqué d'environ 300x120.
- Une feuille avec des repères. C'est facile à faire avec n'importe quel logiciel de dessin un peu évolué. On peut aussi utiliser du bristol quadrillé, une règle, un compas et un feutre fin.
- Un axe de rotation. Ici, j'ai pris un clou de diamètre 5. C'est le diamètre des vis à relier que j'utilise le plus souvent comme axe pour mes pliants.
- Du film adhésif transparent.

Ensuite, muni de tout ces éléments :
- Coller la feuille avec les repères sur le contre-plaqué.
- Poser par dessus le film adhésif transparent qui joue le rôle de protection.
- Couper l'excédent de film sur le pourtour de la planchette.
- Percer le centre des repères au diamètre choisi pour l'axe.
- Coller l'axe pour qu'il dépasse de quelques millimètres.
Et c'est fini !
Ci-contre, la partie centrale avec les repères concentriques et l'axe.



Il faut de plus des accessoires indispensables :
- Des morceaux de film transparent rigide d'environ 150x50 et percés d'un trou du diamètre choisi pour l'axe. Ce genre de film sert habituellement à protéger les documents reliés.
- Un feutre indélébile (du genre de ceux pour les CDs). Pour les rectifications, utiliser un coton-tige imbibé d'alcool.

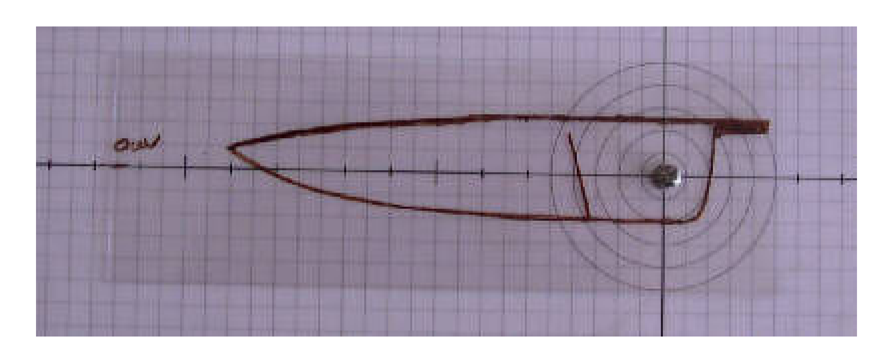
Pour percer facilement ces films, j'en empile beaucoup entre deux planchettes. Je serre le sandwich avec deux serre-joints. Puis, je perce la pile complète avec une perceuse à colonne : Facile, propre et net...

Utilisation

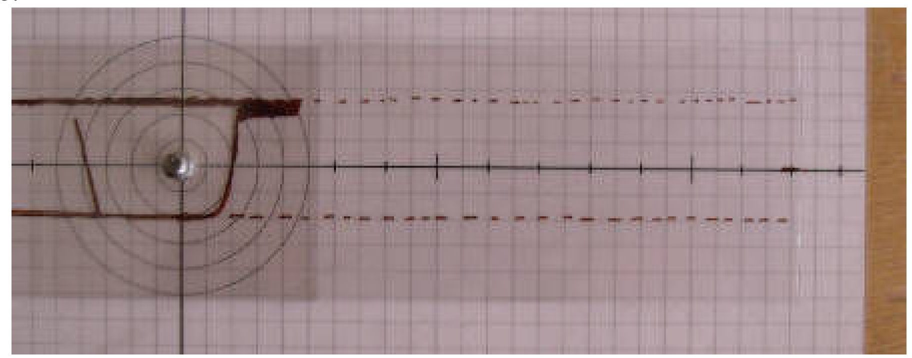
Quand je fabrique un pliant, je commence toujours par forger la lame. Ayant l'habitude des Piémontais, je perce directement le trou d'axe (vers le bas à 40 ou 45 % de la hauteur totale de la lame).

Je finis complètement la lame (trempe, revenu, polissage) avant d'attaquer le design du manche...

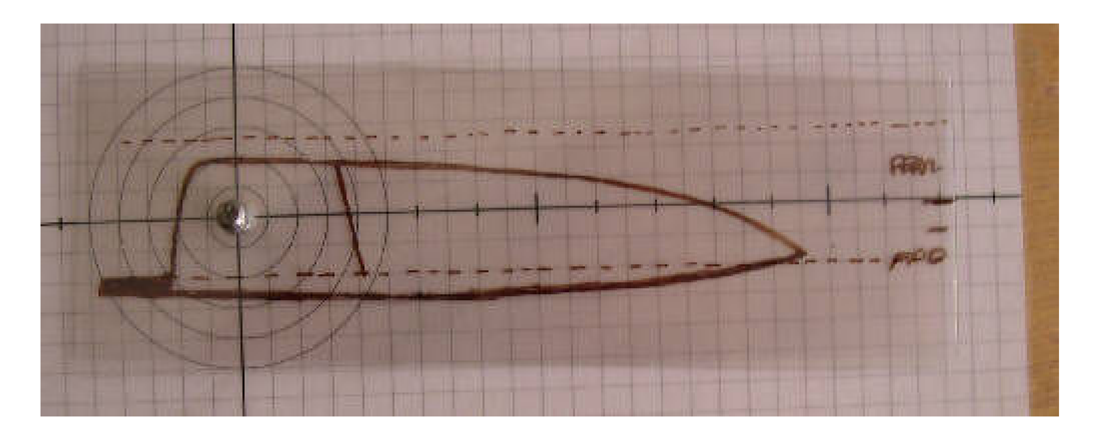
1 - Report du profil de lame sur un transparent. C'est un peu galère si on fait un Piémontais avec une palette "à plat". Mais avec l'habitude, on s'en sort ! Je place tout à gauche un petit repère pour conserver la position de la lame en position ouverte. Sur la photo, la partie noircie correspond au profil de la palette.



2 - Je prolonge le profil du ricasso sur le transparent réservé au manche. Ces deux lignes me servent de guide pour le design du manche et pour prévoir une largeur correcte pour l'intercalaire.

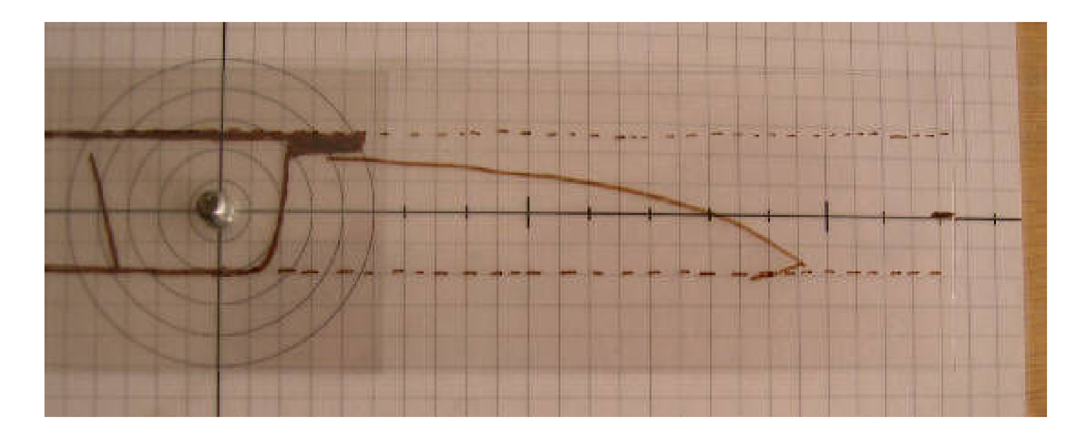


3 - Je place la lame en position fermée et je place un nouveau repère.

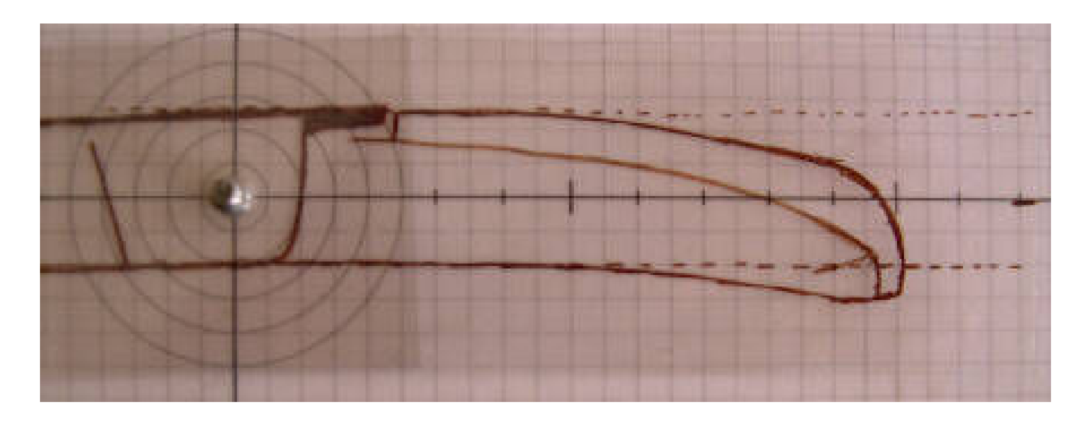


4 - Je trace la partie inférieure de l'intercalaire qui correspond au profil du tranchant de la lame.

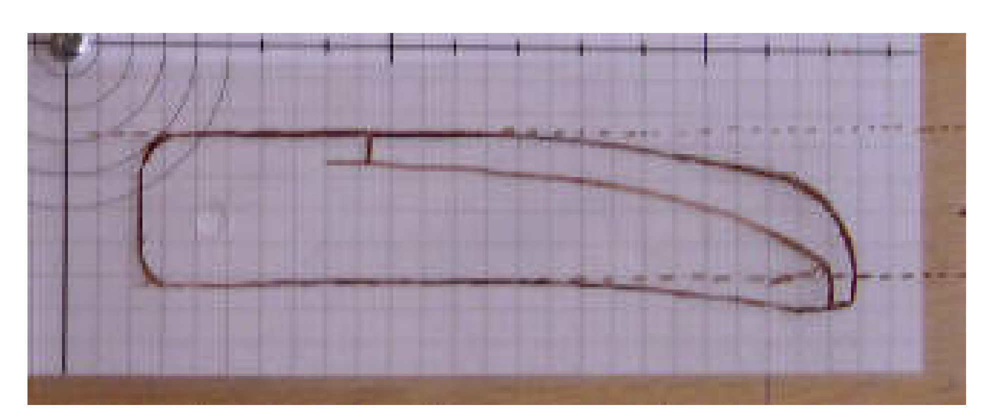
Voir ci-contre le résultat.



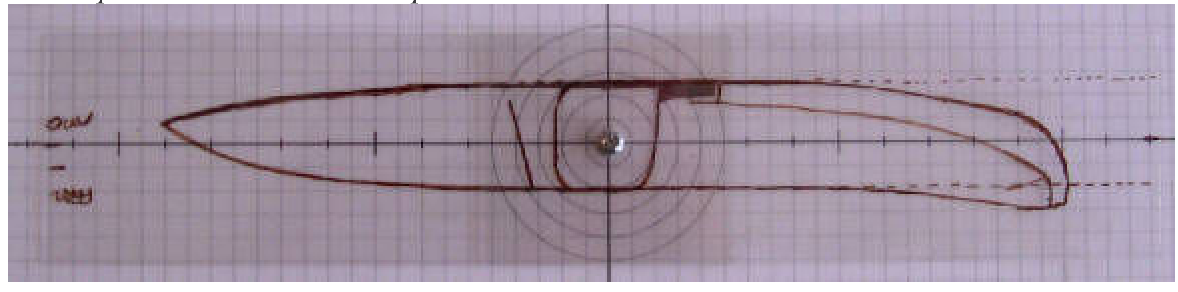
5 - Je finis les contours du manche. Il faut veiller à la largeur de l'intercalaire, qui doit être suffisante pour assurer la solidité du manche.



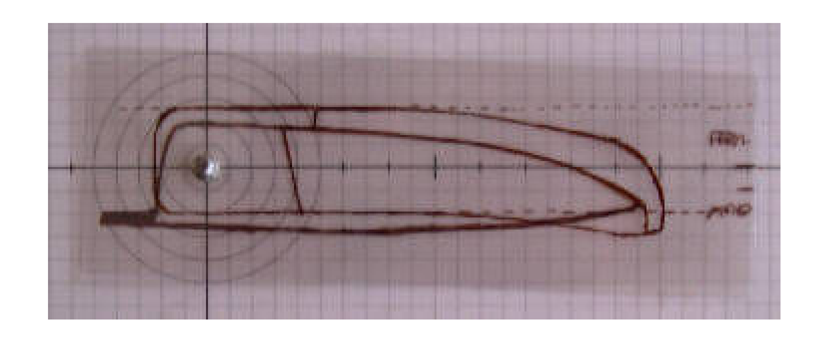
6 - J'ai directement des gabarits pour l'intercalaire et les deux plaquettes.



Voilà ce que donne l'ensemble en position ouverte :



Et en position fermée.

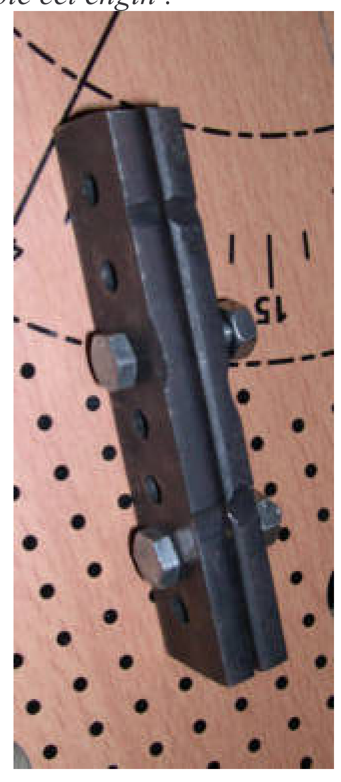


Pour les débutants
Avec l'expérience, on finit par savoir où placer le pivot du pliant, en fonction du mécanisme utilisé.
On peut ainsi commencer à utiliser ce gadget avec une lame complètement finie.
Dans le cas contraire, où il faut tâtonner un peu, voilà une façon de faire :
- Tracer le profil de la lame.
- Dans la zone approximative du pivot, découper au cutter une zone assez large (genre 15x15). C'est la zone de placement de l'axe.
- Coller avec de l'adhésif transparent la forme de la lame sur une bande vierge.
On peut ainsi "déplacer" le trou d'axe par rapport à la lame grâce à l'adhésif en repositionnant le profil de la lame par rapport au trou.
Une fois la position de l'axe déterminée, percer la lame et la finir totalement (traitements thermiques, émouture, polissage).

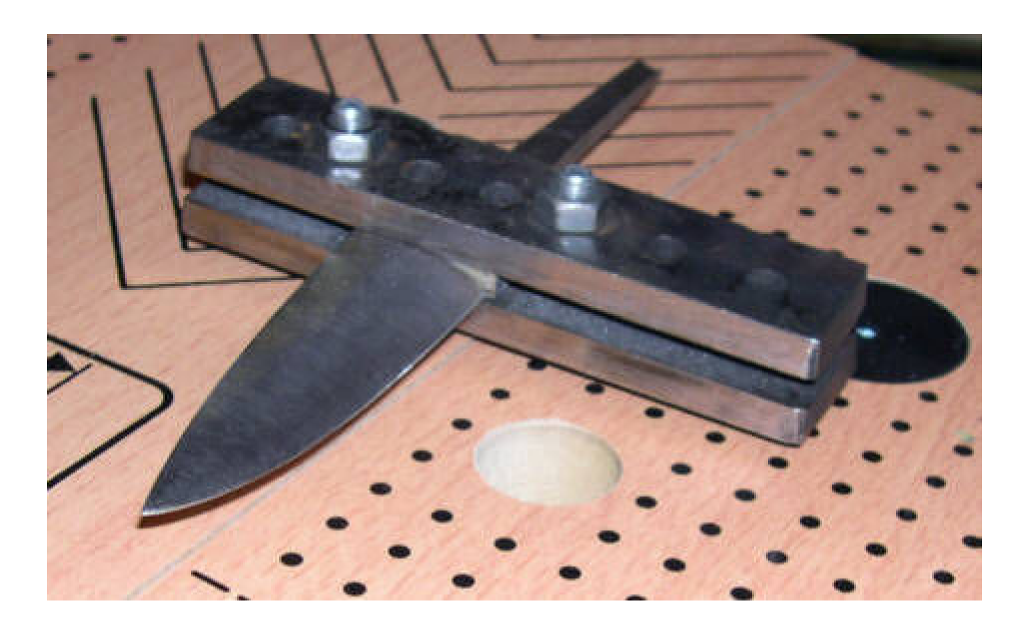
4.Serre-joint à ricasso

Si vous avez déjà rencontré quelques soucis pour faire une jonction lame/ricasso propre et symétrique à la lime, voilà l'outil qu'il vous faut ! Il facilite aussi le centrage du tranchant par rapport au ricasso.

<u>Principe</u>
Tout d'abord, voilà à quoi ressemble cet engin :



Et le même avec un couteau en cours de travail :



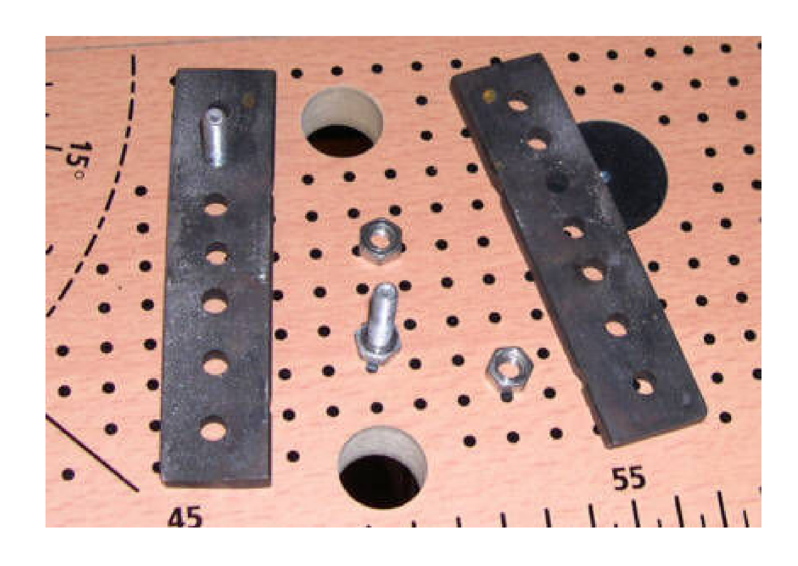
Le ricasso est d'abord rendu plat et ses deux faces parallèles, puis serré dans le serre-joint comme ci-dessus. Ensuite, il suffit d'utiliser une lime plate pour usiner le tranchant. Le bord lisse de la lime prend appui sur le bord de ce serre-joint, garantissant ainsi la rectitude et la symétrie !

Fournitures et outillage
Ce gadget est constitué des éléments suivants :
- Deux méplats d'acier d'environ 25x6 sur une longueur de 100. Idéalement, cet acier servant de zone d'appui (avec friction), il devra être très dur. Ici, j'ai pris du XC120.
- Deux boulons de 6.
Prévoir quelques outils de base pour le travail du métal (scie, perceuse, lime).

<u>Réalisation</u>

(1) Découper les deux morceaux d'acier dans le méplat.
(2) Percer des trous de diamètre 6 à intervalles réguliers.
(3) Tracer les repères sur les profils non utilisés. Deux traits de disqueuse permettent d'aligner correctemment les 2 pièces.
(4) Planer et poncer les faces d'appui.
(5) Tremper les faces d'appui sur environ 5mm. Effectuer un revenu adéquat.
(6) Polir les faces d'appui. C'est fini ! ! !

Ci-contre, les pièces :



Utilisation
Un petit tutorial détaillé devrait naître prochainement. L'essentiel est toutefois dit ci-dessus !

Voilà le bidule en cours d'utilisation :



5.Tout sur la récupération

La récupération est un processus majeur permettant de faire quelques économies tout en recyclant des matériaux. Par contre, il faut garder un certain recul et ne pas récupérer n'importe quoi. Je déconseille toujours de récupérer ainsi de l'acier. On ne connaît jamais vraiment la nuance et dans ce cas, comment en tirer le maximum ?
Certaines informations pourront être redondantes dans les deux chapitres ci-dessous. En effet, j'ai fait un classement un peu arbitraire : (1) par ce que l'on cherche, (2) par source de récupération.
Que récupérer ?
Voici une petite liste de ce qu'il est possible de récupérer facilement :
- Soufflerie : Sèche-cheveux, "moteur" d'aspirateur, soufflerie de chaudière.
- Enclume : Rail de chemin de fer (demander gentiment au service d'entretien des voies), matrice pour les moulages (poubelles des entreprises).
- Four pour revenu : Mini-four pour célibataire (une vingtaine d'euros dans les vides-greniers).
- Bois : A couper dans la nature, meubles anciens (pied de chaise ou table).
- Billot d'enclume : Section de tronc d'arbre (à voir avec un garde-chasse ou des bûcherons).
- Outillage divers : Pinces et marteaux lors des vides-greniers.
- Acier : Ressort d'amortisseur, lames de ressort, vieilles limes (XC100), chaîne de tronçonneuse, câbles (tout acier, sans âme plastifiée).
- Bombonne d'air comprimé de camion : Voir avec un garage pour poids lourds.
- Cuir : Vieux canapés (attention aux imitations).
- Petit compresseur (e.g. pour pompe à vide) : Réfrigérateur aux encombrants.
- Moteur : Machine à laver le linge (moteur 500 à 800W) aux encombrants.
- Outils pour Dremel : Votre dentiste jette régulièrement ses fraises. Il vous les donnera certainement avec plaisir.

Où chercher ?
De nombreux endroits sont propices à la récupération, pourvu d'avoir un peu de temps et l'œil exercé ! En vrac :
- Vides-greniers : Préférer les petits vides-greniers de campagne où les gens se débarrassent des trucs inutiles, aux grandes manifestions et "brocantes" où des professionnels (antiquaires) viennent gagner leur vie.
- Encombrants : Téléphoner aux mairies pour avoir les dates. On y trouve plein de chose comme des appareils ménagers (aspirateur, réfrigérateur, lave-linge, four), des vieux meubles (bois, cuir).

- Bennes à ferraille des garages : Penser à demander l'autorisation pour aller fouiller ! On peut récupérer des ressorts d'amortisseur, des bombonnes d'air comprimé de camion (pour support de forge, bac à eau, bac de trempe).
- Ferrailleurs : Ils ont souvent de vrais trésors, mais ils connaissent les prix ! L'idéal est d'en repérer un bon et de devenir un "habitué".
- Chauffagiste : Pour les souffleries de chaudières. Ils en ont souvent pas mal en stock.
- Nature : La nature est une grande source de matières premières mais il faut la respecter ! Donc, pas de prélèvement abusifs ou sauvages. On y trouve du bois, de l'argile, du sable (siliceux pas calcaire), du grès pour l'affilage.

6.Règles de sécurité

Les accidents n'arrivent pas qu'aux autres. Prenez vos responsabilités !
Ayez à portée une trousse d'urgence et un bac d'eau dans votre atelier.
Ne laisser pas traîner de choses inutiles : Fils électriques, outils, matières premières, combustibles, produits chimiques.
Attention aux impondérables : Spectateurs, enfants ou animaux !
Ayez la tête à ce que vous faites. Sinon, mieux vaut arrêter et reprendre le lendemain.

Utilisation des outils
Il est fréquent en forge comme en coutellerie d'utiliser des outils électriques puissants et potentiellement très dangereux !
Avant tout, apprenez à vous servir correctement des outils !
Dans cette liste non limitative, on peut placer :
- Outils coupants. Ne pas couper vers soi. Eventuellement, utiliser une pièce martyre pour couper.
- Perceuse. Fixer la pièce à percer dans un étau ou avec des serre-joints, ne pas approcher la main du foret.
- Disqueuse. Fixer la pièce à poncer ou à tronçonner dans un étau, ne pas approcher la main du disque, ne pas poser la disqueuse tant que le disque tourne encore.
- Forge. Eteindre le feu après la séance de forge.

Equipements de protection individuels
Pour tous vos travaux, pensez à utiliser des moyens de protection individuels appropriés :
- Lunettes de sécurité, pour la forge avec du borax, la disqueuse, les découpes, l'abrasion à haute vitesse.
- Casque anti-bruit, pour la forge, l'utilisation de la disqueuse. Les casques dits "électroniques" sont de pures merveilles ; Ils coupent les bruits puissants tout en permettant la conversation avec un tiers !
- Masque nasal, pour tous les travaux d'abrasion. Attention cependant, à l'adéquation entre le type de poussière et le type du masque.
- Tablier de forgeron, gants et chaussures renforcées (avec le pantalon passant au dessus), pour la forge avec du borax, la disqueuse, les découpes.
- Vêtements épais en coton.
Mieux vaut ressembler à un pingouin déguisé que de finir à l'hôpital ! Pour mémoire, les yeux, oreilles, doigts et autres organes ne sont pas remplaçables.
Et n'oubliez pas : Vous êtes responsable de ce que vous faites !

SOMMAIRE